



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

Γαλβανική διάβρωση υλικών στήριξης φωτοβολταϊκών  
πλαισίων – Μελέτη γήρανσης υλικών

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Γιώργος Σταματόπουλος**

**Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος**

Αθήνα Οκτώβριος 2014





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Γιώργος Σταματόπουλος**

**Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....

Κωνσταντίνος Δέρβος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Παναγιώτα Βασιλείου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Ηρακλής Αβραμόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γιώργος Κ. Σταματόπουλος

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

Copyright © Σταματόπουλος Κ. Γιώργος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εξετάζεται η οξείδωση των φωτοβολταϊκών στηρίξεων, και τρόποι που μπορούν να μειώσουν το πρόβλημα αυτό.

Οι βάσεις των φωτοβολταϊκών αποτελούνται, συνήθως, από χαλύβδινα πόδια και στηρίξεις από αλουμίνιο. Ο συνδιασμός των υλικών αυτών ποικίλει ανάλογα με την εταιρία. Ο παραπάνω συνδιασμός έχει πάντα ως αποτέλεσμα τα υλικά να διαβρωθούν με την πάροδο του χρόνου. Ανάλογα όμως με το τι διεργασίες ή τι υλικά θα χρησιμοποιηθούν ανάμεσα τους, ο χρόνος αυτός μπορεί να αυξηθεί.

Το κομμάτι της διάβρωσης των υλικών των φωτοβολταϊκών στηρίξεων αποτελεί μέρος της πτώσης της απόδοσης των Φ/Β συστημάτων και για αυτό είναι σημαντικό να μελετείται και να λαμβάνεται υπόψη στην διαδικασία τοποθέτησης τους.

## Λέξεις κλειδιά

Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, στήριξη φωτοβολταϊκών συστημάτων, βάσεις φωτοβολταϊκών, απόδοση φωτοβολταϊκών, οξείδωση χάλυβα, εν θερμώ γαλβάνωση, επιψευδαργύρωση, οξείδωση αλουμινίου, διάβρωση μετάλλων, ανοδίωση, αλατονέφωση. PID.

## **Abstract**

This thesis examines the corrosion of photovoltaic mounts, and ways we can reduce this problem.

The photovoltaic's bases typically consists of steel legs and aluminum supports. The combination of these materials vary depending on the company. The above combination has always resulted materials corrode over time. But depending on what processes or what materials will be used in between, this time may be increased.

The material corrosion matter, of photovoltaic supports, is a big part in the performance of the P / V systems and it is important to study it, and take into account in the placing process.

## **Keywords**

Photovoltaic installation, support photovoltaic systems, photovoltaic bases, photovoltaic efficiency, steel corrosion, hot galvanization, galvanizing, aluminum corrosion, corrosion of metals, anodizing, salt spray. PID.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους παρακάτω:

Τον κ. Κωνσταντίνο Θ. Δέρβο, καθηγητή του Τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών του Ε.Μ.Π. για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας και για την στήριξη και βοήθεια που μου προσέφερε.

Την κ. Παναγιώτα Βασιλείου, καθηγήτρια της σχολής Χημικών Μηχανικών, τομέας Επιστήμης και τεχνικής υλικών για την υποστήριξη της σε όλη την διάρκεια του πειραματικού κομματιού της διπλωματικής εργασίας.

Τον κ. Θεόδωρο Αργυρόπουλο, διδάκτορα Ναυπηγών Μηχανολόγων και Μηχανικών, ΕΔΙΠ ΣΗΜΜΥ, που βοήθησε σε όλη την διεξαγωγή του πειράματος.

Τον Ιωάννη Π. Σταθόπουλο, Διπλωματούχο Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π υποψήφιο διδάκτορα του εργαστηρίου ηλεκτροτεχνικών υλικών που με βοήθησε πάνω στο θέμα την οξειδωσης, βρίσκοντας τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή.

Την Μυρσίνη Γουμενάκη, εργαζόμενη στην Metallumin που μας χορήγησε τα υλικά που χρειαζόμασταν για να γίνει το πείραμα.

Τον Γιώργο Παπαλάμπρη, Διπλωματούχο Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π υποψήφιο διδάκτορα της σχολής Χημικών Μηχανικών που βοήθησε στην κατασκευή της εποξειδικής ρητίνης που χρησιμοποιήθηκε σε ένα δοκίμιο του πειράματος.

## Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	6
Ευχαριστιες	7
Περιεχόμενα	8
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b>	
1.1 Ηλιακή ενέργεια	11
1.2 Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά	12
1.2.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία και τα είδη τους	13
1.2.1.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	13
1.2.1.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	14
1.2.1.3 Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών υμενίων, thin film	15
1.2.1.3.1 Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών υμενίων, $CuInSe_2$	15
1.2.1.3.2 Άμορφο πυρίτιο	16
1.2.1.3.3 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)	17
1.2.1.3.4 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)	17
1.2.1.4 Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία	18
1.2.2 Πλεονεκτήματα Φ/Β στοιχείων	18
1.2.3 Μειονεκτήματα Φ/Β στοιχείων	19
1.3 Παράγοντες μείωσης απόδοσης του φωτοβολταϊκού	19
1.3.1 Οι οπτικές απώλειες	20
1.3.2 Η αντίσταση $R_s$	20
1.3.3 Η χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο	20
1.3.4 Η γήρανση	21
1.3.5 Δίοδος αντεπιστροφής	21
1.3.6 Η σκίαση	21
1.3.7 Η θερμοκρασία	23
1.3.8 Η ακτινοβολία	24
1.3.9 Ο άνεμος	26
1.3.10 Η ρύπανση	26
1.3.11 Οι ηλεκτρικές απώλειες	26
1.3.12 PID φαινόμενο	27
1.3.13 Οξείδωση των βάσεων	28
<b>Κεφάλαιο 2: Οξείδωση βάσεων</b>	
2.1 Υλικά κατασκευής βάσεων και οι συνδέσεις τους	29
2.1.1 Σύνδεση υλικών των βάσεων από εταιρίες	29
2.1.1.1 Aluset (aluminum systems)	29
2.1.1.2 METALLOUMIN	32
2.1.1.3 Kompakt vario	33
2.1.1.4 Μεταλλοδομή	34
2.1.1.5 Plandach 5	35
2.2 Εισαγωγή στην οξείδωση των μετάλλων	35



2.2.1	Ο σχηματισμός της διάβρωσης	36
2.3	Οξείδωση αλουμινίου	38
2.3.1	Γενικά	39
2.3.2	Διάβρωση και περιβαλλοντικοί παράγοντες	40
2.3.3	Εφαρμογές	42
2.4	Ατμοσφαιρική διάβρωση χάλυβα	42
2.4.1	Ατμοσφαιρική διάβρωση χάλυβα	43
2.4.2	Η διάβρωση σε σχέση με τον χρόνο και οι περιβαλλοντικές παραμέτροι	45
2.4.3	Εφαρμογές	46
2.5	Ατμοσφαιρική διάβρωση ψευδαργύρου	47
2.5.1	Ιστορική αναδρομή	47
2.5.2	Έκθεση του ψευδάργυρου στην ατμόσφαιρα	49
2.5.3	Τοποθέτηση πάνω από τον χάλυβα (θυσιαζόμενα μεταλλικά επιστρώματα)	51
2.5.3.1	Εν θερμώ εμβάπτιση	51
2.5.3.2	Γαλβάνισμα με ηλεκτραπόθεση (electroplating)	54
2.5.3.3	Γαλβάνισμα με ψεκασμό ψευδαργύρου (metal spraying with zinc)	54
2.5.3.4	Έλεγχος του πάχους του επιστρώματος και ομοιομορφία	55
2.5.4	Αντίσταση στην διάβρωση επιστρωμάτων ψευδάργυρου	55

### Κεφάλαιο 3: Πειραματικό κομμάτι

3.1	Εισαγωγή	57
3.1.1	Αλατονέφωση	58
3.1.2	Ανοδίωση	59
3.1.3	Εποξειδική ρητίνη	60
3.2	Πίνακες πρώτων μετρήσεων	60
3.2.1	Ενδεικτικά δοκίμια όπου έγιναν οι μετρήσεις	62
3.2.2	Πίνακας επιψευδαργύρωσης χάλυβα	63
3.2.3	Πίνακας πάχους οξείδωσης αλουμινίου	64

### Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα πειράματος

4.1	Σύγκριση 12 δειγμάτων πριν και μετά την αλατονέφωση	66
4.1.1	Δοκίμιο 1α	66
4.1.2	Δοκίμιο 1β	71
4.1.3	Δοκίμιο 2α	76
4.1.4	Δοκίμιο 2β	81
4.1.5	Δοκίμιο 3α	86
4.1.6	Δοκίμιο 3β	91
4.1.7	Δοκίμιο 4α	96
4.1.8	Δοκίμιο 4β	101
4.1.9	Δοκίμιο 5α	106
4.1.10	Δοκίμιο 5β	111
4.1.11	Δοκίμιο 6α	116

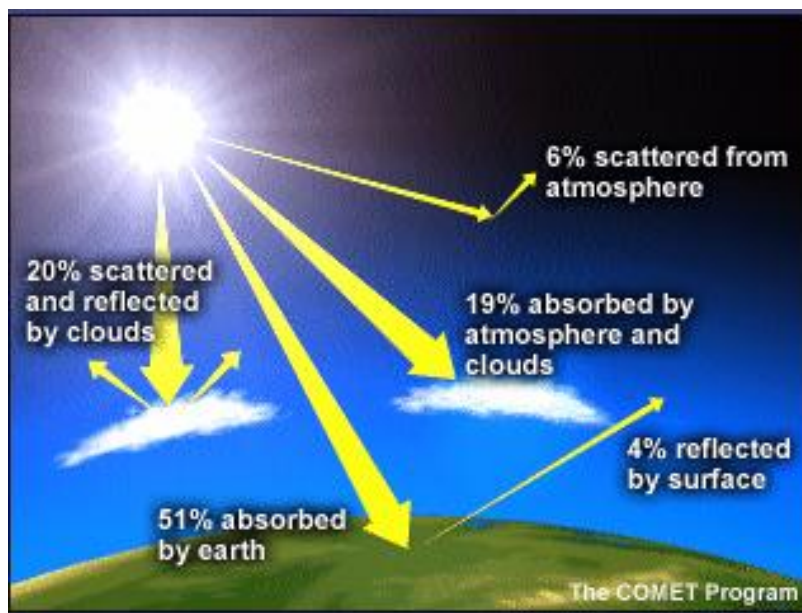
4.1.12	Δοκίμιο 6β	.....	121
4.2	Συμπεράσματα	.....	126
<b>Κεφάλαιο 5:</b> Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 100kW Μελιγαλά			..... 135
<b>Κεφάλαιο 6:</b> Παραρτήματα Α			..... 136
<b>Κεφάλαιο 7:</b> Βιβλιογραφία			..... 163

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Ηλιακή ενέργεια

Μια από τις βασικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια, η οποία έχει ως βάση της τον ήλιο.

Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας. Μόνο ένα μέρος της ακτινοβολίας που προέρχεται άμεσα από τον ήλιο (άμεση ηλιακή ακτινοβολία) φτάνει τελικά στην Γη, ενώ το υπόλοιπο είτε απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας είτε ανακλάται πάλι προς το διάστημα ή προς την επιφάνεια της γης.



*Εικόνα 1: Ανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη και την ατμόσφαιρα*

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για τη παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους, είτε με θερμικές εφαρμογές (όπως θερμοσίφωνες) είτε με φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας με στόχο την παραγωγή θερμότητας (χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για τη κίνηση τουρμπίνων), ενώ στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων ή συστοιχιών.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Αν και, ακόμα, η παραγωγή ενέργειας δεν στηρίζεται εν κατά κύριο λόγο σε αυτά, δεν παύουν να παίζουν βασικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας.



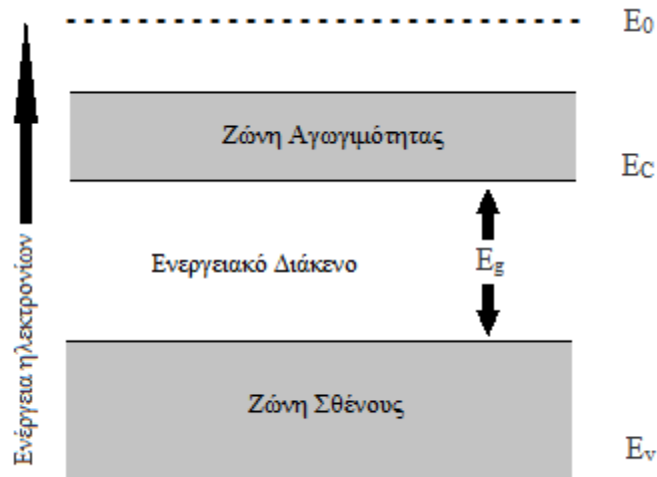
*Εικόνα 2: Φωτοβολταϊκό πάρκο*

## 1.2 Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι η ελάχιστη δομική μονάδα που μετασχηματίζει τη φωτεινή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα εμπορικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται συνήθως από p-n διόδους επαφής, ή από διόδους Schottky (η οποία δημιουργείται με επαφή ημιαγωγού και μετάλλου). Το εμβαδόν των προαναφερθέντων Φ/Β στοιχείων ποικίλει από λίγα τετραγωνικά εκατοστά ως  $180\text{cm}^2$ .

Το φαινόμενο αυτό στηρίζεται πάνω στους ημιαγωγούς, στοιχεία, συνήθως, τετρασθενή (με ποιο σημαντικό το πυρίτιο Si). Οι ημιαγωγοί έχουν μικρότερη αγωγιμότητα από τους αγωγούς και μεγαλύτερη από τους μονωτές. Τα τέσσερα ηλεκτρόνια στη ζώνη σθένους, τους δίνουν την ιδιότητα να «επιτρέπουν» την διέλευση ηλεκτρικού φορτίου μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Στους ημιαγωγούς υπάρχουν δυο ζώνες. Η ζώνη αγωγιμότητας ( $E_C$ ) και η ζώνη σθένους ( $E_V$ ). Αυτές οι δύο ζώνες χωρίζονται από το ενεργειακό διάκενο ( $E_g$ ), που ποικίλει ανάλογα με το στοιχείο. Αν ένα ηλεκτρόνιο λάβει ενέργεια μεγαλύτερη του ενεργειακού διακένου, διεγείρεται και μεταφέρεται από την ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας πίσω του μια οπή στην ζώνη σθένους. Η ενέργεια αυτή στα φωτοβολταϊκά δίνεται από τα φωτόνια και η διαδικασία λέγεται *φωτοαγωγιμότητα*.



*Σχήμα 1: Συμβατικό διάγραμμα για το ενεργειακό διάκενο*

## 1.2.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία και τα κύρια είδη τους

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατατάσσονται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και την καθαρότητα του πυριτίου στις παρακάτω κατηγορίες:

### 1.2.1.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

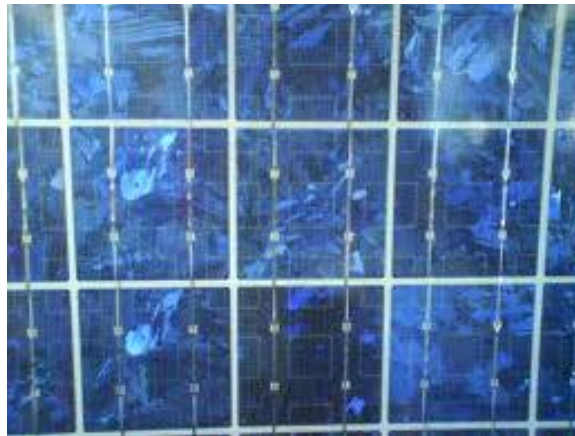
Το πάχος τους είναι περίπου 0,3mm. Η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Κάτω από εργαστηριακές μελέτες έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης. Ένα μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά, λόγω της δυσκολίας στην κατασκευή τους. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, έχει απόδοση πλαισίου 18,5%, με μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πλαισίου του, αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.



*Εικόνα 3: Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου*

### **1.2.1.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο**

Το πάχος τους είναι και σε αυτά περίπου 0,3mm. Η μέθοδος παραγωγής τους κοστίζει λιγότερα σε σύγκριση με αυτή των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή πώλησής τους είναι συνήθως χαμηλότερη από τα προειπωθέντα. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της μονοκρυσταλλικής περιοχής, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Εργαστηριακές μελέτες έχουν πετύχει αποδόσεις έως και 20%, ενώ τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία εμπορίου διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15%, για τα φωτοβολταϊκά τους πλαίσια.

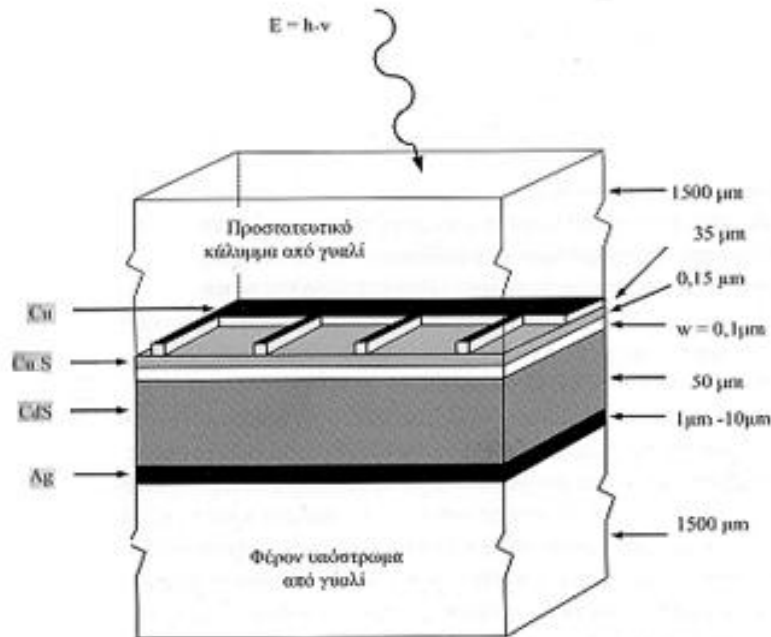


*Εικόνα 4: Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου*

### 1.2.1.3 Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών υμενίων, THIN FILM

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτών υμενίων καταλαμβάνουν σημαντικό τμήματος αγοράς. Χρησιμοποιούν την τεχνική της επιταξίας υγρής φάσης, “Liquid Phase Epitaxy” (LPE) και της επιταξίας αέριου φάσης “Chemical Vapour Deposition” (CVP).

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτών υμενίων κατασκευάζονται από την εναπόθεση τουλάχιστον δύο λεπτών ημιαγωγικών υμενίων (πάχους περίπου 1μm) πάνω σε κατάλληλο υπόστρωμα. Τα ημιαγωγικά υμενία τοποθετούνται στην πάνω πλευρά, η οποία δέχεται το φωτισμό, και εγκαθίστανται το ηλεκτροστατικό φράγμα δυναμικού που απαιτείται για την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Ανάλογα με την επίμειξη παρουσιάζεται διαφορετική τιμή ενεργειακού διακένου. Η δημιουργημένη επαφή p-n χαρακτηρίζεται ως *ετεροεπαφή*. Σε αντίθετη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως *ομοεπαφή*.

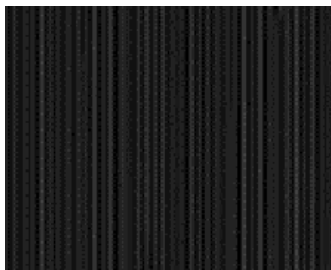


*Εικόνα 5: Η δομή των υλικών και οι διαστάσεις ενός κλασσικού φωτοβολταϊκού στοιχείου (τύπου λεπτού υμενίου) που βασίζει τη λειτουργία του στην επαφή θειούχου χαλκού / θειούχου κάδμιου*

#### 1.2.1.3.1 Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών υμενίων, Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός

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

απόδοση έχει φτάσει ως και το επίπεδο του 18,8%. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο.



*Εικόνα 6: Φωτοβολταϊκό στοιχείο Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού*

### **1.2.1.3.2 Άμορφο πυρίτιο**

Τέλος, οι κυψέλες από άμορφο πυρίτιο έχουν απόδοση αισθητά μικρότερη γύρω στα 6 με 8%. Η κατασκευή τους γίνεται με εναπόθεση πυριτίου σε υπόστρωμα γυαλιού. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου βασίζεται στο εύκολο και φθινό τρόπο κατασκευής τους, που τους επιτρέπει να μην επηρεάζονται τόσο από τις υψηλές θερμοκρασίες, σε σχέση με τα προηγούμενα δυο είδη, αν και υστερούν σε απόδοση από αυτά. Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, που σημαίνει ότι για να παραχθεί η ίδια ενέργεια χρειάζεται διπλάσια σχεδόν επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

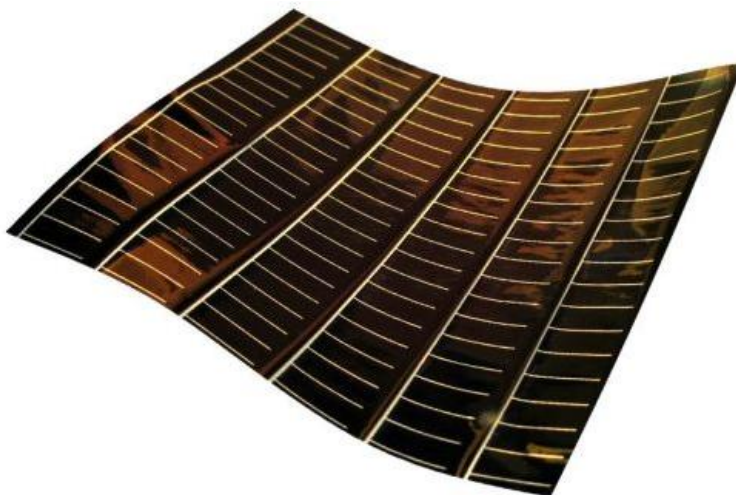


*Εικόνα 7: Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου*



### 1.2.1.3.3 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

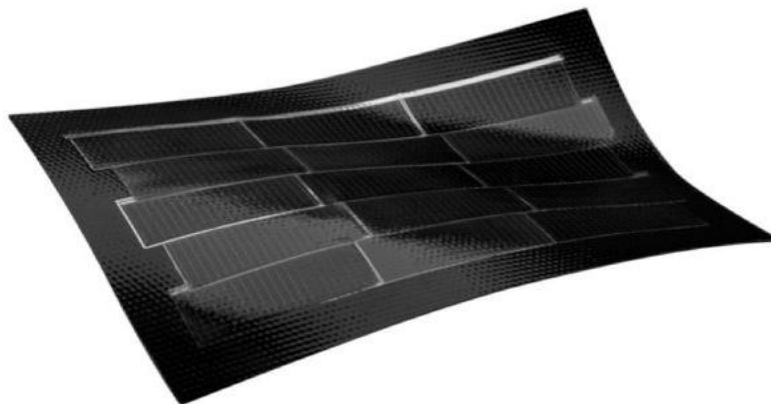
Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV. Αυτό το διάκενο, είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι η δυνατότητα του φωτοβολταϊκού να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Δυστυχώς όμως, αν και έχει αυτό το πλεονέκτημα, στις μέρες μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Εργαστηριακά η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων Τελουριούχου Κάδμιου έχει φθάσει έως και το 16%. Σοβαρό μειονέκτημα του είναι ότι το κάδμιο σύμφωνα με έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ένα δεύτερο του μειονέκτημα είναι ότι το τελούριο είναι περιορισμένο σε ποσότητα στην Γη.



*Εικόνα 8: Φωτοβολταϊκό στοιχείο Τελουριούχου Κάδμιου*

### 1.2.1.3.4 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το γάλλιο είναι ένα στοιχείο που προέρχεται από την ρευστοποίηση άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό, με αποτέλεσμα αυτού, να έχει υπερβολικό κόστος. Το αρσενικό δεν σπανίζει, όμως έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το ενεργειακό διάκενο του αρσενικούχο γάλλιο είναι 1,43eV πράγμα που το καθιστά ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι υψηλότερη σε σχέση με τα άλλα είδη και αγγίζει το 29%. Τα βασικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών στοιχείων GaAs είναι ότι έχουν εξαιρετική αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες και την ηλιακή ακτινοβολία.



*Εικόνα 9: Φωτοβολταϊκό στοιχείο αρσενικούχου γάλλιου*

#### **1.2.1.4 Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία**

Τέλος, μια άλλη κατηγορία είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που αποτελούνται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών HIT (Heterojunction with Intrinsic Thinlayer – Ετεροενώσεις με ενδογενή λεπτά στρώματα). Τα γνωστότερα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Ο υψηλός βαθμός απόδοσης είναι το βασικότερο γνώρισμα αυτής της τεχνολογίας, που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2%. Από αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι χρειάζεται μικρότερη επιφάνεια για την επίτευξη ίδιας εγκατεστημένης ισχύς.

Άλλα πλεονεκτήματα των πολυστρωματικών φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι, όπως και με το Αρσενικούχο Γάλλιο, η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Τα φωτοβολταϊκά αυτά είναι ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια ως έχοντα περισσότερα πλεονεκτήματα.

#### **1.2.2 Πλεονεκτήματα Φ/Β στοιχείων**

Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους τρόπους παραγωγής ενέργειας. Αυτά τα πλεονεκτήματα έχουν ως εξής:

- Στηρίζονται πάνω σε μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, τον ήλιο
- Η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και να απελευθερώνεται αργά και σταδιακά
- Η τοποθέτηση ενός ηλιακού συστήματος είναι απλή. Η δε συντήρηση που απαιτεί είναι ελάχιστη ενώ η ανθεκτικότητα του φτάνει ως και τα 25 έτη λειτουργίας

- Πρόκειται για απλή και συμφέρουσα λύση, καθώς με τη πάροδο του χρόνου τα ηλιακά συστήματα τείνουν να αποπληρώνονται σε μικρό χρονικό διάστημα (μέσος χρόνος αποπληρωμής 4 έτη).
- Είναι εύχρηστα και μπορούν να τοποθετηθούν ακόμα και από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε μηχανήματα μικρής κλίμακας όσο και σε ευρείας.
- Είναι η εναλλακτική ενέργεια που φαίνεται ότι μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα στις ανάγκες του μέλλοντος.
- Μπορούν να εγκαταστηθούν στις πόλεις χωρίς να προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον και χωρίς να ηχορυπαίνουν.
- Η πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να επανατροφοδοτήσει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας
- Μπορούν να τροποποιηθούν, ώστε σε περίπτωση ανάγκης η μέγιστη ισχύς τους να αυξηθεί ή να μειωθεί (δυνατότητα επέκτασης).
- Η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και να απελευθερώνεται αργά και σταδιακά.
- Κάθε κιλοβατόρα ενέργειας παραγόμενης από φωτοβολταϊκά «γλιτώνει» 1,4 τόνους διοξειδίου του άνθρακα αφού στην θέση του λιγνίτη χρησιμοποιείται ηλιακή ενέργεια.
- Το κόστος δε μεταβάλλεται με τη πάροδο του χρόνου όπως συμβαίνει π.χ. με τα ορυκτά καύσιμα.

### 1.2.3 Μειονεκτήματα Φ/Β στοιχείων

Παρακάτω παρατίθενται τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων:

- Το αρχικό κόστος εγκατάστασής τους είναι αρκετά μεγάλο.
- Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας δεν είναι σταθερή. Διαφοροποιείται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αν έχει συννεφιά, αν είναι βράδυ, ή αν έχει σκόνη η ατμόσφαιρα. Θερμοκρασιακά, είναι καλύτερα να λειτουργούν σε δροσερό περιβάλλον. Τα Φ/Β συστήματα υπολειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Οι αποδόσεις των Φ/Β συστημάτων είναι χαμηλές με αποτέλεσμα να μην είναι ακόμα αξιόπιστα ως πρωτεύουσα και μοναδική παροχή ενέργειας.
- Τα Φ/Β πλαίσια παράγουν συνεχή τάση η οποία πρέπει να μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη, με τη χρήση αναστροφέα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας

## 1.3 Παράγοντες μείωσης απόδοσης του φωτοβολταϊκού

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού ποικίλουν. Υπάρχουν εσωτερικοί, κατασκευαστικοί παράγοντες, όπως οι οπτικές απώλειες, η  $R_s$ , η χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, η γήρανση, η δίοδος

αντεπιστροφής και οι ηλεκτρικές απώλειες. Αντιστοίχως υπάρχουν και περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η σκίαση, η θερμοκρασία, η ακτινοβολία, ο άνεμος και η ρύπανση. Ακόμα υπάρχουν κάποιοι αστάθμητοι παράγοντες όπως το φαινόμενο PID και η οξείδωση των βάσεων των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω:

### 1.3.1 Οι οπτικές απώλειες

Οι οπτικές απώλειες αποτελούν στην ουσία, απώλειες του φωτοβολταϊκού λόγω της μερικής ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου (υαλοπίνακας). Η ανακλαστικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου αυξάνει καθώς αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνειά του, ιδιαίτερα σε γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των  $60^{\circ}$ .



*Εικόνα 10: Τυχούσες αντανακλάσεις σε φωτοβολταϊκό πλαίσιο*

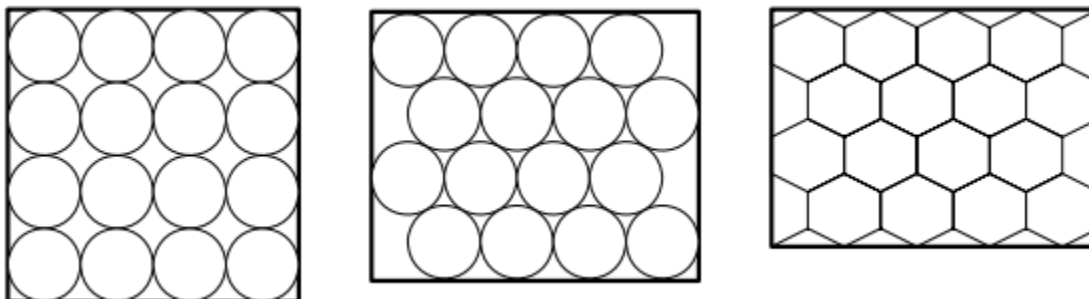
### 1.3.2 Η αντίσταση $R_s$

Η αντίσταση  $R_s$  είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Όσο μεγαλύτερη η αντίσταση τόσο και οι απώλειες ισχύος αυξάνονται. Αυτό συμβαίνει λόγω της απόστασης μεταξύ της όψης του στοιχείου και της ένωσης p-n. Η αντίσταση μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και η απόσταση.

### 1.3.3 Η χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Με τον όρο *χωροταξικής τοποθέτηση* εννοούμε τον τρόπο τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πάνω στο πλαίσιο. Όσο πιο κοντά μπουν το ένα στο άλλο, τόσο περισσότερα θα τοποθετηθούν σε ένα πάνελ. Συνεπώς ο συντελεστής κάλυψης  $s_k$  του πλαισίου

αυξάνεται, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Συμπέρασμα αυτού αποτελεί ότι είναι καίριας σημασίας να αξιοποιείται στο βέλτιστο η επιφάνεια ολόκληρου του πλαισίου.



*Εικόνα 11: Τρεις συνήθεις τρόποι τοποθέτησης στοιχείων στο Φωτοβολταϊκό πλαίσιο*

### 1.3.4 Η γήρανση

Είναι η μικρή βαθμιαία πτώση που συμβαίνει με την πάροδο του χρόνου και σχετίζεται με την μείωση στην ποσότητα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Αυτή η πτώση οφείλεται στην φθορά των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η συνήθης ετήσια πτώση είναι υπολογισμένη στο 1 έως 2%.

### 1.3.5 Δίοδος αντεπιστροφής

Η δίοδος αντεπιστροφής εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Όταν όμως το πλαίσιο δε φωτίζεται προκαλεί απώλειες ενέργειας της τάξης του 1%. Ο συντελεστής απωλειών της δίοδου αντεπιστροφής είναι  $\sigma_8=0,99$ .

### 1.3.6 Η σκίαση

Ένας από τους βασικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες μείωσης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι το φαινόμενο της μερικής ή ολικής σκίασης των πλαισίων τους. Η ιδανική περίπτωση απαιτεί κατά τον σχεδιασμό να αποφεύγονται όλες οι πιθανές

σκιάσεις. Αυτό δυστυχώς είναι δύσκολο ως εγχείρημα, επειδή τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα βρίσκονται συνήθως σε αστικές ή ημιαστικές περιοχές όπου η εγκατάσταση τους γίνεται σε στέγες, στις οποίες κάποιες σκιάσεις δεν μπορούν να μην υπάρχουν. Η σκίαση μπορεί να χαρακτηριστεί ως προσωρινή, ή να προκύπτει από την τοποθεσία, ή από το ίδιο το κτίριο, ή ακόμα μπορεί να προκαλείται και από το ίδιο το σύστημα (αυτό - σκίαση).

Ως προσωρινή σκίαση μπορεί να χαρακτηριστεί και η σκίαση από φυσικά αίτια. Παράγοντες όπως το χιόνι, τα φύλλα, τα περιττώματα των πουλιών και άλλα είδη ακαθαρσιών είναι οι συνήθεις ένοχοι αυτού του τύπου σκίασης.



*Εικόνα 12: Σκίαση φωτοβολταϊκών από φοινικόδενδρα*

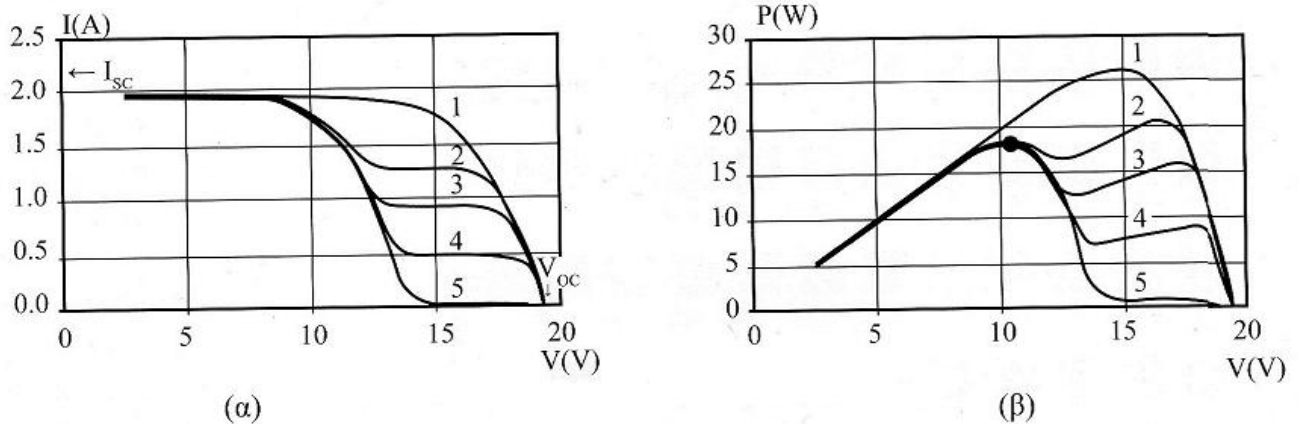
Η σκόνη και οι ακαθαρσίες αιθάλης σε βιομηχανικές περιοχές ή τα πεσμένα φύλλα σε δασικές περιοχές είναι ένας πολύ συνηθισμένος παράγοντας σκίασης. Το αποτέλεσμα αυτού του είδους σκίασης είναι λιγότερο επιβλαβές αν η συστοιχία αυτοκαθαρίζεται (ακαθαρσίες που παρασύρονται από την βροχή). Ο αυτοκαθαρισμός εξασφαλίζεται από τη γωνία κλίσης του συστήματος, με κλίση 12 μοίρες ή και περισσότερο. Οι γωνίες με μεγαλύτερη κλίση αυξάνουν την ταχύτητα ροής του νερού της βροχής με αποτέλεσμα να απομακρύνουν αποτελεσματικότερα ξένα σωματίδια. Έτσι αυξάνοντας την κλίση της συστοιχίας μειώνεται αυτού του είδους η σκίαση.

Η σκίαση επιδρά στην DC ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Ένα συνηθισμένο πλαίσιο αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά. Επομένως σκίαση (ή βλάβη) σε ένα στοιχείο της σειράς θα μπορούσε να επιφέρει γενική αχρήστευση του πλαισίου. Ο λόγος αυτού είναι ότι ένα σκιασμένο στοιχείο δέχεται ανάστροφη τάση από τα υπόλοιπα μη σκιασμένα.

Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αυτού του φαινομένου τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εφοδιάζονται με διόδους (παράκαμψης), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των κυττάρων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά.

Σε περίπτωση σκίασης μεμονωμένων φωτοβολταϊκών μοναδών μίας στοιχειοσειράς του εσωτερικού της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, τα ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας

αλλάζουν πολύ, αφού αυτή πλέον διαθέτει περισσότερα του ενός και διαφορετικά μεταξύ τους σημεία λειτουργίας, απόδοσης. Το ολικό μέγιστο είναι χαμηλότερο από όταν δεν υπάρχει καμία σκίαση.



**Γραφική 1:** Οι χαρακτηριστικές καμπύλες (α) I-V και (β) P-V ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου τύπου SM 36-18 H1 στο οποίο το 1 από τα 36 στοιχεία σκιάζεται μερικώς: (1) πλήρης έκθεση  $110 \text{ mW/cm}^2$ , (2)  $75 \text{ mW/cm}^2$ , (3)  $56 \text{ mW/cm}^2$ , (4)  $31 \text{ mW/cm}^2$ , (5)  $2 \text{ mW/cm}^2$ .

### 1.3.7 Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων αυξάνεται με την έκθεση του πλαισίου στην ηλιακή ακτινοβολία, όπως φαίνεται και από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\Delta T = \kappa * H \quad \text{ή} \quad \Delta T = 0.34 * H - 4$$

και

$$T_{\text{στοιχείου}} = T_{\text{αέρος}} + \frac{(T_{\text{noct}} - 20)}{80} * H$$

όπου  $\Delta T$  η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ υλικού και περιβάλλοντος σε  $^{\circ}\text{C}$

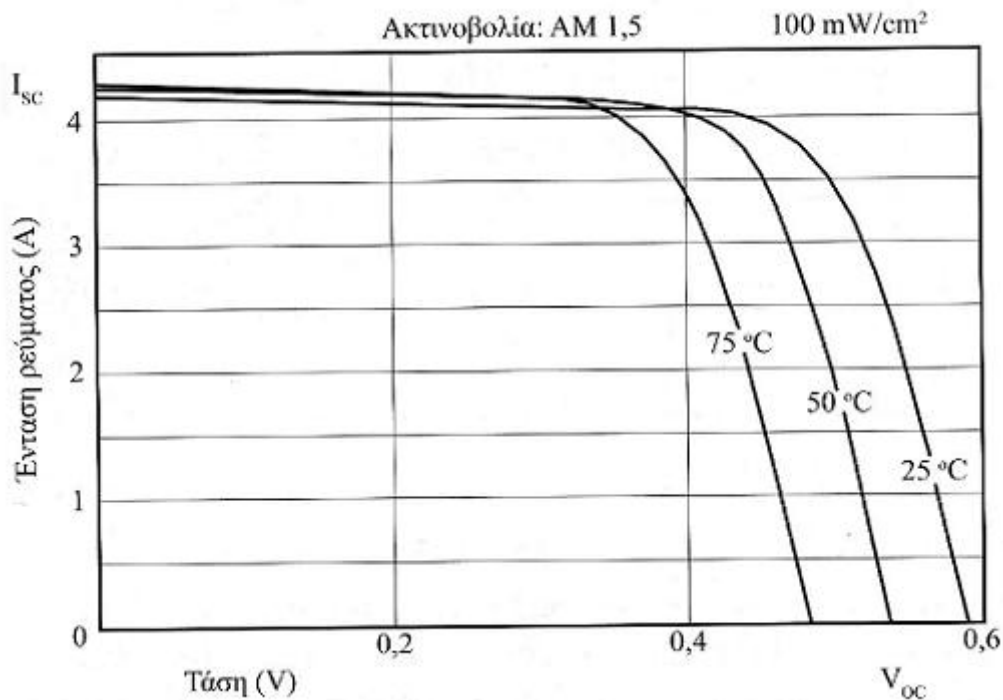
$H$  η προσπίπτουσα ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας σε  $\text{Mw/cm}^2$

$\kappa$  ο σταθερός όρος μεταξύ  $0.2$  και  $0.4 \text{ }^{\circ}\text{C/mW*cm}^2$

$4$  ο σταθερός όρος σε  $^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{Noct}}$  η ονομαστική θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε  $^{\circ}\text{C}$

Οι ιδανικές συνθήκες λειτουργίας των φωτοβολταϊκών είναι η ηλιοφάνεια, αλλά με όσο το δυνατόν χαμηλότερη θερμοκρασία. Σύμφωνα με τα STC, μια «καλή» θερμοκρασία είναι οι 25 °C, θερμοκρασία εργαστηρίου. Αυτές οι θερμοκρασίες -και ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες- διαφέρουν σημαντικά. Οι μεγάλες θερμοκρασίες κυττάρου έχουν αρνητική επίδραση στην μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διαφοράς δυναμικού του φωτοβολταϊκού στοιχείου (βλέπε τη παρακάτω γραφική)

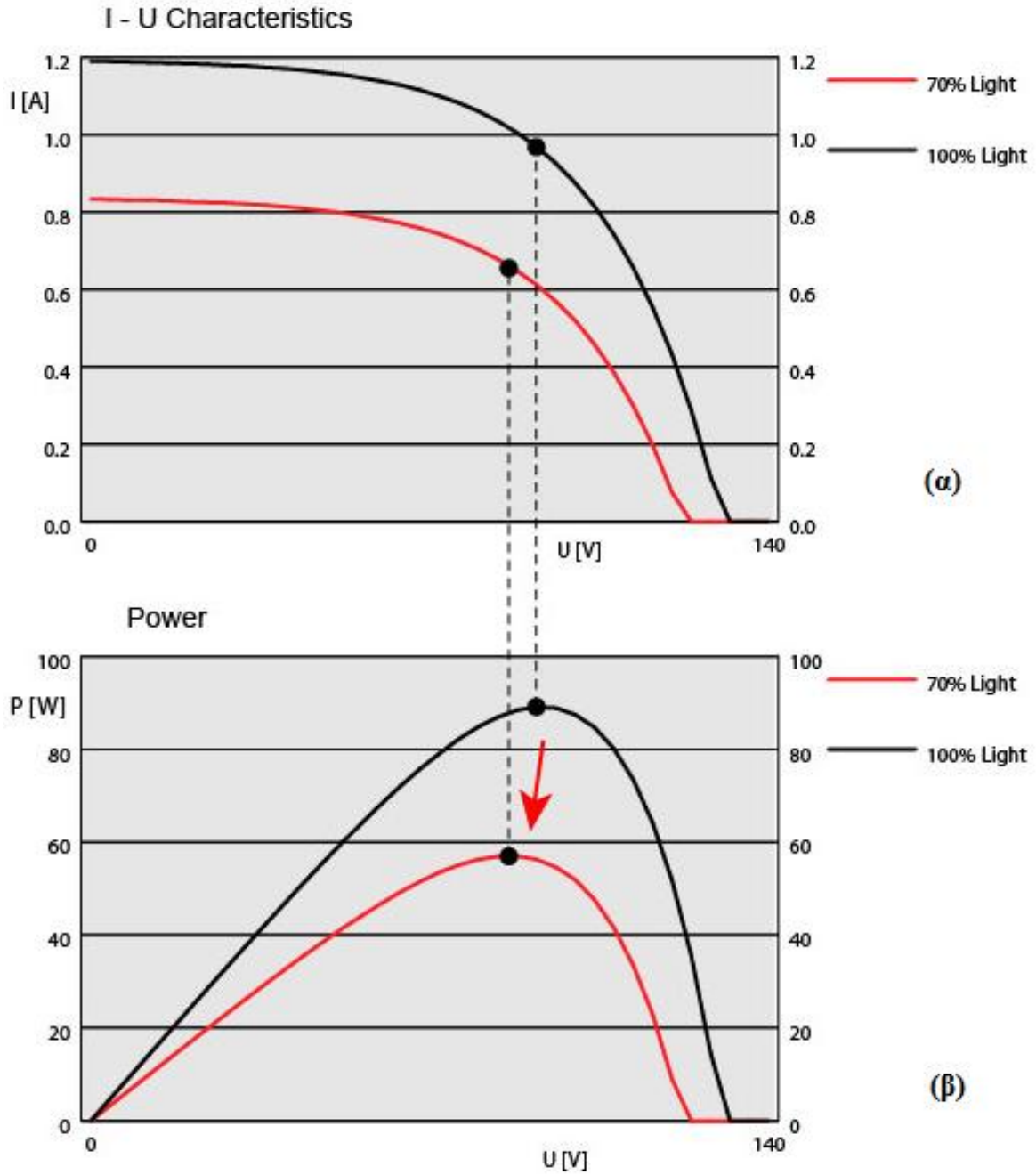


**Γραφική 2:** Μεταβολή της χαρακτηριστικής I-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ως προς τη θερμοκρασία του, για εργαστηριακές συνθήκες ακτινοβολίας (φωτεινή ισχύς 100 mW/cm<sup>2</sup> και Air Mass =1,5).

### 1.3.8 Η ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι άμεσα συνδεδεμένη με το ποσό ενέργειας που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε ετήσια βάση. Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός συλλέκτη είναι με τη σειρά της άμεσα εξαρτώμενη από τον προσανατολισμό του πλαισίου ως προς τον ήλιο. Για μεγαλύτερα λαμβανόμενα ποσά ηλιακής ενέργειας, τα πλαίσια πρέπει να προσανατολίζονται κατάλληλα και να είναι τοποθετημένα στη βέλτιστη γωνία κλίσης (εφόσον δεν χρησιμοποιούνται στρεφόμενες βάσεις ενός ή δύο αξόνων). Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ.





*Γραφική 3 : (α) Χαρακτηριστική I-V για τιμές 70% και 100% έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας*

*(β) Χαρακτηριστική P-V για τιμές 70% και 100% έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας*

### 1.3.9 Ο άνεμος

Ένα παράπλευρο κομμάτι της θερμοκρασίας είναι και οι άνεμοι. Οι υψηλές ταχύτητες σε σχέση και με την διεύθυνση τους μπορεί να ψυχραίνουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Συγκεκριμένα οι βόρειοι άνεμοι, ως είθισται ψυχρότεροι, με αποτέλεσμα τα συστήματα να δουλεύουν με χαμηλότερη θερμοκρασία. Σε κάθε περίπτωση (εξαιρουμένων των θερμών ανέμων) το θερμοκρασιακό αποτέλεσμα είναι καλύτερο (χαμηλότερο) από αυτό που θα υπήρχε αν επικρατούσε άπνοια στην περιοχή.

### 1.3.10 Η ρύπανση

Σωματιδιακοί ρυπαντές και σκόνη είναι τα δύο βασικά στοιχεία αυτού του παράγοντα πτώσης της απόδοσης. Αυτά αποτελούν ξένα σωματίδια που επικάθονται στην άνω όψη του φωτοβολταϊκού πλαισίου με αποτέλεσμα η τελική ακτινοβολία που εισχώρει στα φωτοβολταϊκά στοιχεία του πλαισίου να μειώνεται, σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 5 και 15%. Η συνέργεια της νυχτερινής υγρασίας ενισχύει το μηχανισμό, δεδομένου ότι οι ρυπαντές προσκολλώνται στην άνω όψη και συμβάλλουν στην ανάκλαση ή την απορρόφηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Στην διεθνή βιβλιογραφία το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με την ονομασία «soiling».

Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται στα πλαίσια που τοποθετούνται οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια. Λόγω των γεωμετρικών περιορισμών καθίστανται περισσότερο ευάλωτα και επιφέρουν μεγαλύτερες απώλειες από τις επικαθίσεις που φτάνουν ως και 15%.

Οι παράπλευρες αγροτικές ασχολίες συμβάλλουν επίσης στη μείωση της απόδοσης. Η ανοιξιάτικη γύρη αλλά και οι επικαθίσεις σκόνης από το όργωμα, είναι δυο βασικά προβλήματα. Στις περιπτώσεις αυτές παρατηρείται μείωση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος ακόμα και μεγαλύτερη από το θεωρητικά μέγιστο ποσοστό του 15%.

Για όλους τους παραπάνω λόγους είναι σημαντικός ο περιοδικός καθαρισμός των επιφανειών των φωτοβολταϊκών πλαισίων μιας εγκατάστασης. Η μέση τυπική ρύπανση των πλαισίων σε αστικό περιβάλλον μπορεί να θεωρηθεί ότι οδηγεί σε μείωση της παραγόμενης ισχύος κατά 7% περίπου.

### 1.3.11 Οι ηλεκτρικές απώλειες

Υπάρχουν δυο λόγοι ηλεκτρικών απωλειών:

α) Οι ωμικές απώλειες των καλωδιώσεων και των συνδέσμων της εγκατάστασης. Για την μέγιστη δυνατή μείωση των απωλειών Joule χρησιμοποιούνται αυξημένες διατομές καλωδιώσεων DC.

β) Διαφοροποιήσεις ηλεκτρικών μεγεθών μεταξύ των παράλληλων φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Επειδή όλα τα πλαίσια δεν είναι εντελώς όμοια μεταξύ τους, ενδέχεται η ισχύς της κάθε συστοιχίας να διαφέρει. Αποτέλεσμα αυτού, ο καθορισμός της παρεχόμενης ισχύος να γίνεται από την λιγότερο αποδοτική συστοιχία.

Τα αποδεκτά όρια της μείωσης της παρεχόμενης ισχύος μπορούν να φτάσουν από τα 3 έως τα 7% και ως τυπική τιμή των συνολικών ηλεκτρικών απωλειών μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης θεωρείται το 5%.

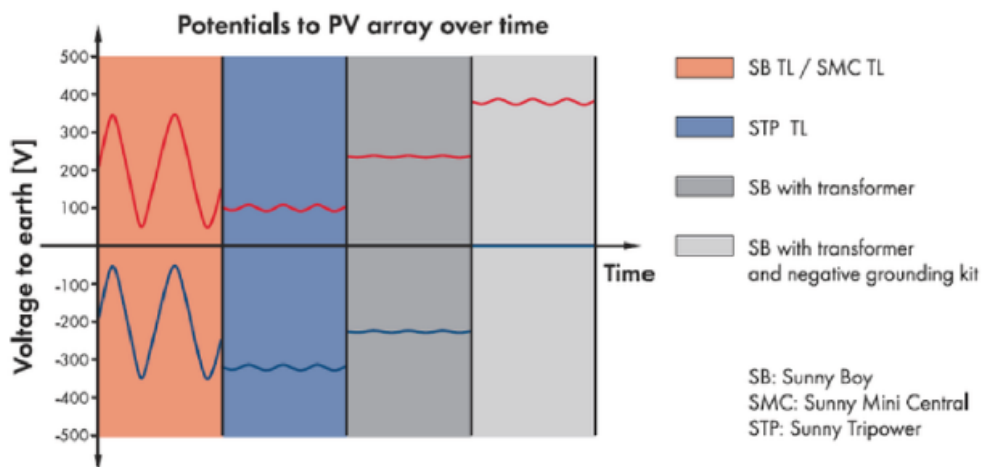
### 1.3.12 PID φαινόμενο

Το PID (Potential Induced Degradation), είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σχέση με την απόδοσή τους. Συγκεκριμένα η μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών μπορεί να αγγίξει ως και τα 30%, μέσα στα πρώτα λίγα χρόνια εγκατάστασής τους.

Η κυριότερη αιτία του φαινομένου PID είναι το δυναμικό που εμφανίζει η φωτοβολταϊκή μονάδα, ως προς το δυναμικό της γης. Το δυναμικό του πανέλου εξαρτάται από το σημείο που αυτό βρίσκεται μέσα στο σύστημα. Λόγω του δυναμικού αυτού, μπορεί να προκληθεί ρεύμα διαρροής που μπορεί να διαφύγει μέσω των υπολοίπων στοιχείων, τα οποία ως γειωμένα έχουν δυναμικό μηδενικό. Τα ιόντα που διαφεύγουν διαμέσου αυτών των οδών, προκαλούν απώλεια ισχύος.

Τα περισσότερα φωτοβολταϊκά παρέχουν τάση περί των 30V. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε τέτοιες συστοιχίες ώστε να επιτευχθούν τιμές τάσης στα 300 με 500V ως προς την γη. Ανάλογα όμως με το είδος της γείωσης και του inverter, η τάση αυτή είναι διαφορετικά κατανομημένη ως προς την γη. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τρόποι συνδεσμολογίας γείωσης - inverter.

- Μετατροπέας, με γαλβανική απομόνωση με ισομερισμένη τάση στον θετικό και αρνητικό πόλο.
- Inverter με γαλβανική μόνωση και αρνητική γείωση. Όλη η τάση είναι στον θετικό πόλο και ο αρνητικός στα 0V.
- Inverter με γαλβανική μόνωση και θετική γείωση. Ακριβώς το ίδιο με τον προηγούμενο τρόπο μόνο που ο θετικός πόλος είναι στα 0V.
- Inverter χωρίς μετασχηματιστή, όπου οι τάσεις είναι κατανομημένες ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού τους.



Το δυναμικό του κατώτατου (μπλε) ή του ανώτατου (κόκκινη) φωτοβολταϊκού πλαισίου μίας στοιχειοσειράς εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο μετατροπέα και από το αν είναι γειωμένος ένας πόλος της γεννήτριας. Παραδείγματα για τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) 400 V.

*Εικόνα 13: Οι τέσσερις τρόποι σύνδεσης μεταξύ γείωσης και inverter*

Ένα μέτρο προστασίας είναι να τοποθετήσουμε ένα κουτί που να μετατοπίζει το δυναμικό ολόκληρης της στοιχειοσειράς στο θετικό μέρος. Το ηλιοβασίλεμα, όταν η τάση είναι χαμηλή, αυτό θα ανεβάζει το δυναμικό σε ένα υψηλό θετικό, αντιστρέφοντας έτσι την επίδραση της πόλωσης.

### 1.3.13 Οξείδωση των βάσεων

Η οξείδωση των βάσεων των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ένα πρόβλημα που, ως σήμερα δεν έχει μελετηθεί πλήρως. Κατά το φαινόμενο αυτό, η οξείδωση που αναπτύσσεται στις διεπαφές δημιουργεί μια constriction resistant που εμποδίζει το ρεύμα, που διατρέχει τα πλαίσια να κινηθεί προς την γη. Αυτό δημιουργεί χωρητικότητες ανεπιθύμητες που με την σειρά τους επιφέρουν πρόωρη γήρανση στα φωτοβολταϊκά.

## **Κεφάλαιο 2: Οξείδωση βάσεων**

### **2.1 Υλικά κατασκευής βάσεων και σύνδεση τους**

Οι βάσεις των εμπορικών φωτοβολταϊκών είναι, συνήθως, φτιαγμένες από επιψευδαργυρωμένο χάλυβα και αλουμίνιο. Οι ράγες, τα πόδια και τα εξαρτήματα κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής με εν θερμώ γαλβάνισμα κατά EN ISO 1461, ενώ για τα σημεία στήριξης μεταξύ του επιψευδαργυρωμένου χάλυβα και των φωτοβολταϊκών πλαίσιων χρησιμοποιείται αλουμίνιο.

#### **2.1.1 Σύνθεση βάσεων από εταιρίες**

Ο γενικός τρόπος σύνθεσης, των βάσεων είναι να χρησιμοποιείται επιψευδαργυρωμένος χάλυβας για ράγες, πόδια και εξαρτήματα και αλουμίνιο για τα ενδιάμεσα σημεία στήριξης. Όμως υπάρχουν διάφορες παραλλαγές σ' αυτήν την σύνθεση.

Η κάθε εταιρεία τροποποιεί την σύνθεσή της ανάλογα με την ζήτηση του πελάτη και με το τι θέλει να επιτύχει. Παραδείγματος χάριν, κάποιες εταιρείες έχουν τοποθετήσει μεταξύ αλουμινίου και χάλυβα ένα προστατευτικό πλαστικό πολυμερές για να μειώσουν την μελλοντική οξείδωση του χάλυβα. Κάποιες άλλες χρησιμοποιούν ανοδιωμένο αλουμίνιο, ενώρισμένες το χαράζουν. (Όλα τα προαναφερθέντα εξετάζονται στο πειραματικό κομμάτι).

Στην συνέχεια θα εξεταστούν ορισμένες ελληνικές εταιρείες που διαθέτουν τητροπολογία σύνθεσής τους δημόσια, και θα αναλυθεί ο τρόπος σύνθεσης τους.

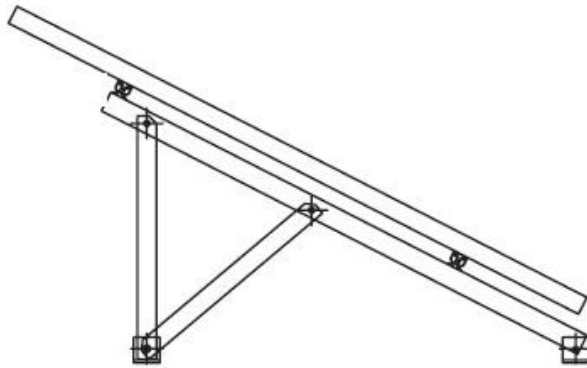
##### **2.1.1.1 Aluset (aluminum systems)**



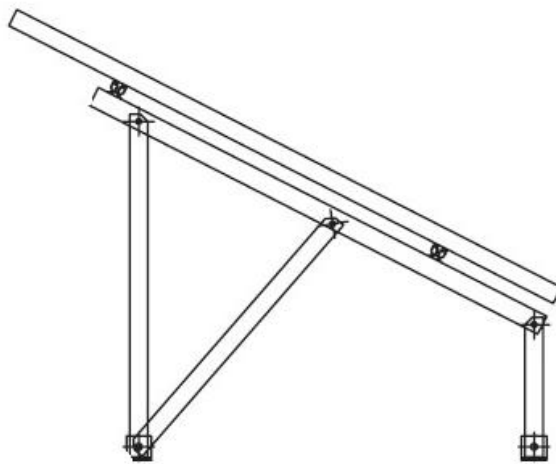
*Εικόνα 14: σύνθεση που δίνεται από aluset*



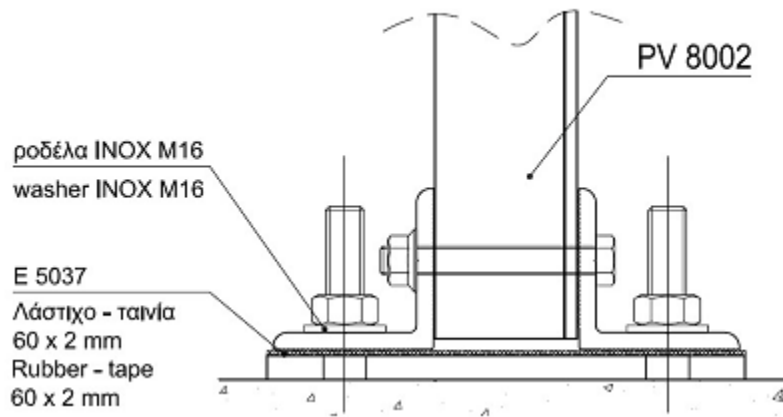
*Εικόνα 15: Σύνδεση με το Φ/Β πλαίσιο*



*Εικόνα 16: Σχεδιάγραμμα Φ/Β με ένα σημείο στήριξης υπερψωμένο*



*Εικόνα 17: Φ/Β με δύο υπερψωμένα σημεία στήριξης*

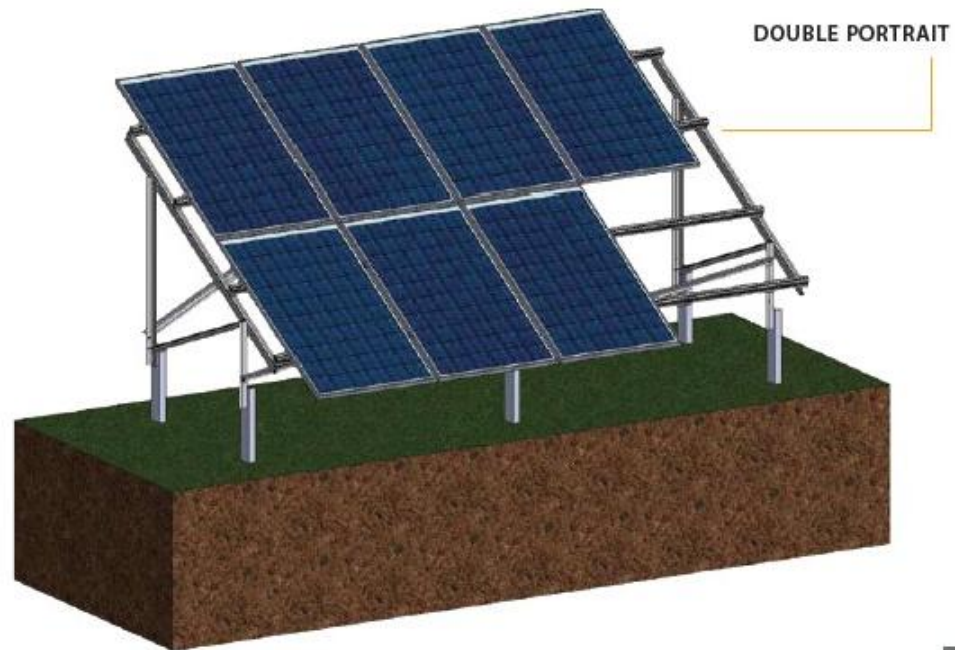


*Εικόνα 18: Σχεδιάγραμμα τοποθέτησης των υλικών με ενδιάμεσο στοιχείο ταινία-λάστιχο*

Η Aluset χρησιμοποιεί, όπως φαίνεται παραπάνω, ένα ενδιάμεσο υλικό. Χρησιμοποιεί λάστιχο-ταινία με πάχος 2mm.

## 2.1.1.2 METALOUMIN

For framed modules of any dimension  
and type & non framed HELIOPHERA modules



### TECHNICAL DATA

- Unlimited capacity of extension with maximum distance between the legs of the structure 2,4 m.
- Capability of supporting further PV equipment (such as inverters) on the body of the structure.
- The mounting system has a fixed angle of gradient (20o - 40o).
- All joints are using bolts and nuts (friction joints class 3 according to Euro code.
- Ability to overcome the thermal expansions through special patents.
- Insulation material between aluminum in order to avoid galvanic corrosion.
- Diagonal cross bars to protect the assembly from side (E-W) wind load vibration.

*Εικόνα 19: Διαδικτυακό δελτίο METALOUMIN για τα στοιχεία των στηρίξεων των βάσεων*



Το παραπάνω φυλλάδιο διατίθεται διαδικτυακά από την METALOUMIN. Σ' αυτό μπορούμε να δούμε λεπτομέρειες για τα στοιχεία σύνδεσης των βάσεων που διαθέτουν στην αγορά.

Στο προτελευταίο σημείο αναφέρεται το μονωτικό υλικό που τοποθετείται μεταξύ των αλουμινίων για να αποφεύγεται η γαλβανική διάβρωση.

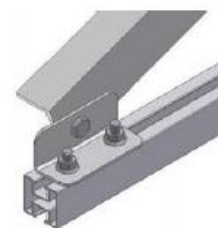
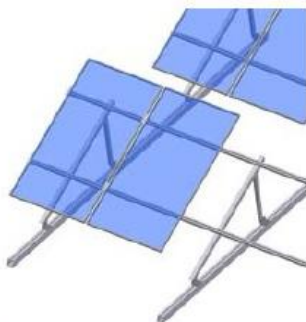


*Εικόνα 20: Διασυνδέσεις στις βάσεις των Φ/Β της METALOUMIN*

### 2.1.1.3 Kompakt vario

#### **Assembly hints**

The fittings for the supports are fastened to the grooves in the base profile. Furthermore all usual Schletter fastening systems (Kalzip clamp, plate fold clamp, FixT, FixE, Fix2000, etc) can be screwed to the groove on the bottom side.

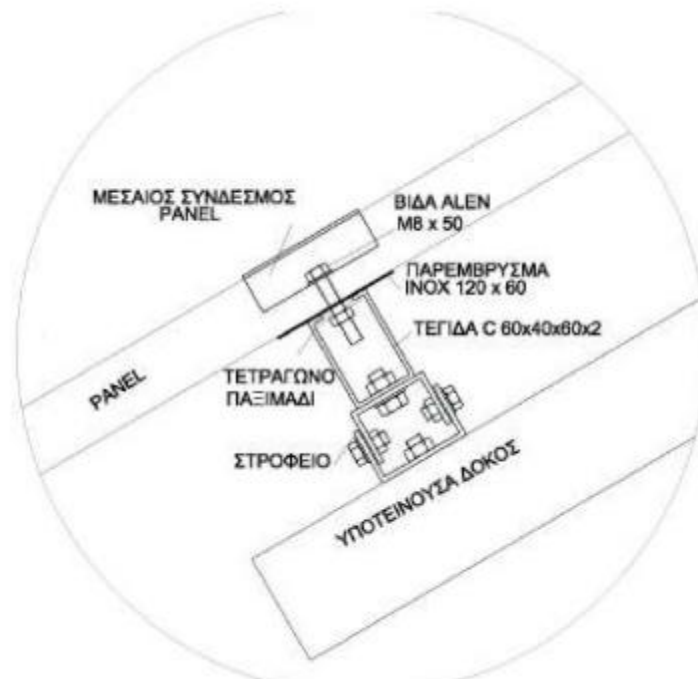


The fastening of the modules is made with the usual component parts of our modular construction system.]

*Εικόνα 21: Σύνδεση υλικών που παρατίθεται από την εταιρεία Kompakt Vario*

Παραπάνω παρατίθεται η σύνδεση όπως υλοποιείται από την εταιρεία Kompakt Vario. Η εν λόγω εταιρεία συνδέει τα υλικά χωρίς κάποιο ενδιάμεσο υλικό

#### 2.1.1.4 Μεταλλοδομή

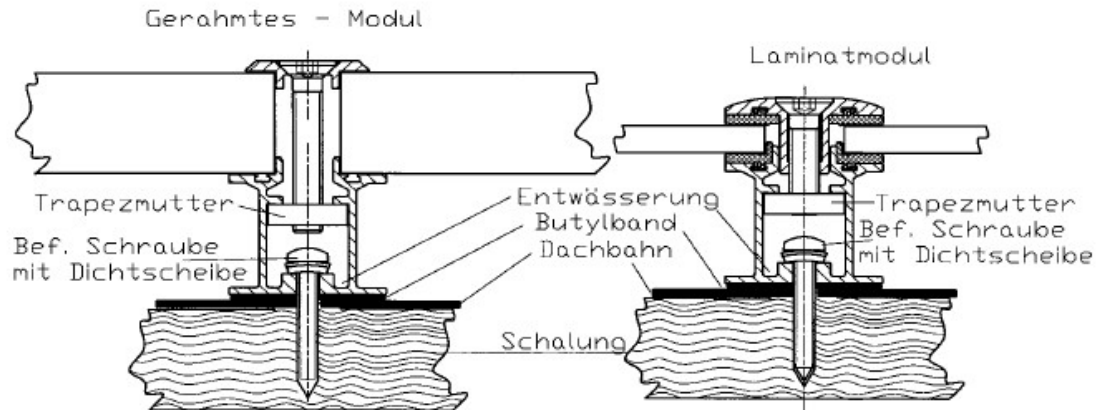


*Εικόνα 22: Στήριξη τεγίδας σε ειδικό στρεφόμενο τεμάχιο (στρόφειο)*

Η συγκεκριμένη εταιρεία (Μεταλλοδομή) χρησιμοποιεί χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ σύμφωνα με τα πρότυπα EN ISO 1461. Μεταξύ του χάλυβα και του αλουμινίου βλέπουμε ότι τοποθετείται ένα παρεύρισμα INOX.

### 2.1.1.5 Schletter solar

#### System structure



*Εικόνα 23: Κατασκευαστικό σχέδιο διασύνδεσης των υλικών*

Παρατηρούμε ότι και αυτή η εταιρεία χρησιμοποιεί καουτσούκ βουτιλιού ως ενδιάμεσο υλικό μεταξύ τεγίδος και χάλυβα.

## 2.2 Εισαγωγή στην οξείδωση των μετάλλων

Το φαινόμενο της διάβρωσης είναι τόσο παλιό όσο και η ιστορία των μετάλλων, και έχει εκφραστεί ως τη πρώτη απειλή που καταστρέφει τα μέταλλα και τις δομές τους. Ο ανθρώπινος πολιτισμός έχει ως τώρα δείξει ότι δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς μεταλλικές κατασκευές, με τη διάβρωσή τους να είναι η αχίλλειος πτέρνα τους.

Η λέξη διάβρωση είναι τόσο παλιά όσο και η γη, αλλά έχει γίνει γνωστή με διάφορα ονόματα. Η διάβρωση είναι γνωστή κοινώς ως σκουριά, ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο που καταστρέφει τη λάμψη και την ομορφιά των αντικειμένων και μειώνει τη διάρκεια ζωής τους.

Ορισμένοι φιλόσοφοι, συγγραφείς και επιστήμονες παρατήρησαν το φαινόμενο της διάβρωσης για το οποίο κάνουν λόγο στα γραπτά τους:

- Στην αρχαία Ελλάδα, την πρώτη αναφορά στην προστασία του χάλυβα την έκανε ο Ηρόδοτος τον πέμπτο αιώνα π.Χ. όπου πρότεινε τη χρήση του κασσίτερου για την προστασία του.
- Ο Austin το 1788 παρατήρησε ότι το ουδέτερο νερό γίνεται αλκαλικό όταν ενεργεί σε σίδηρο.

- Ο Thenard το 1819 πρότεινε ότι η διάβρωση είναι ένα ηλεκτροχημικό φαινόμενο.
- Ο Hall το 1829 παρατήρησε ότι ο σίδηρος δεν σκουριάζει εν απουσία οξυγόνου.
- Ο Davy το 1824 πρότεινε μια μέθοδο προστασίας του σιδήρου με θυσιαζόμενο ψευδάργυρο.
- Ο De la Rive το 1830 πρότεινε την ύπαρξη μικροκυψέλων στην επιφάνεια του ψευδαργύρου.

Η πιο σημαντική συνεισφορά πραγματοποιήθηκε αργότερα από τον Faraday (1791-1867), ο οποίος διαπίστωσε μια ποσοτική σχέση μεταξύ της χημικής δράσης και του ηλεκτρικού ρεύματος. Οι νόμοι του Faraday, ο πρώτος και ο δεύτερος, αποτελούν τη βάση για τον υπολογισμό του ρυθμού διάβρωσης των μετάλλων. Οι ιδέες για τον έλεγχο διάβρωσης άρχισαν να δημιουργούνται στην αρχή του δέκατου ένατου αιώνα. Ο Whitney το 1903 παρείχε μια εργασία για τον έλεγχο της διάβρωσης με βάση την ηλεκτροχημική παρατήρηση.

Ήδη, από τον δέκατο όγδοο αιώνα, παρατηρήθηκε ότι ο σίδηρος διαβρώνεται ταχύτατα σε αραιό νιτρικό οξύ, αλλά παραμένει ανέπαφο σε πυκνό νιτρικό οξύ. Ο Schonbein το 1836 έδειξε ότι ο σίδηρος μπορεί να είναι γίνεται παθητικό στοιχείο. Τέλος ο U. R. Evans το 1923 παρείχε μια σύγχρονη κατανόηση των αιτίων και του ελέγχου της διάβρωσης που βασίζεται στην κλασική ηλεκτροχημική του θεωρία.

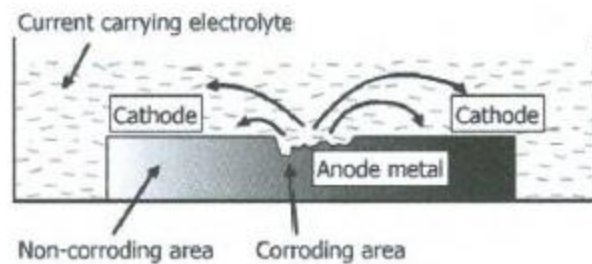
Η διάβρωση δεν μπορεί να οριστεί χωρίς αναφορά στο περιβάλλον. Όλα τα περιβάλλοντα είναι διαβρωτικά σε κάποιο βαθμό. Στην συνέχεια παρατίθεται μια λίστα των τυπικών, ευρέως πιο διαδεδομένων, διαβρωτικών περιβαλλόντων:

- (1) αέρας και υγρασία,
- (2) αλάτι και θαλασσινό νερό
- (3) Φυσική, αστική, θαλάσσια και βιομηχανική ατμόσφαιρα
- (4) ατμός και αέρια, όπως το χλώριο
- (5) περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα αμμωνίας
- (6) περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα υδρόθειου
- (7) διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου.
- (8) αέρια καυσίμων
- (9) οξέα
- (10) αλκάλια
- (11) χώματα και σκόνη

## 2.2.1 Ο σχηματισμός της διάβρωσης

Για να πραγματοποιηθεί η διάβρωση είναι απαραίτητο ένα κύτταρο διάβρωσης. Ένα διαβρωμένο κύτταρο ουσιαστικά αποτελείται από τα τέσσερα ακόλουθα συστατικά:

- Άνοδο
- Κάθοδο
- Ηλεκτρολύτες
- Μεταλλική διαδρομή



*Εικόνα 24: Στοιχείο σε διαδικασία οξείδωσης*

### Άνοδος:

Σε ένα ηλεκτροχημικό κύτταρο, η άνοδος είναι η περιοχή όπου τα ηλεκτρόνια παράγονται μέσω της χημικής δραστηριότητας του μετάλλου. Η άνοδος είναι η περιοχή όπου λαμβάνει χώρα η απώλεια μετάλλου. Το μέταλλο χάνει ηλεκτρόνια και μεταναστεύει από τη μεταλλική επιφάνεια μέσω του περιβάλλοντος. Τα ηλεκτρόνια παραμένουν στο μέταλλο, αλλά είναι ελεύθερα να κινούνται ανάλογα με την απόκριση της κλίσης της τάσεως.

### Κάθοδος:

Η κάθοδος σε ένα ηλεκτροχημικό κελί είναι η περιοχή όπου τα ηλεκτρόνια καταναλώνονται. Για κάθε ηλεκτρόνιο που παράγεται σε μία θέση της ανόδου, ένα ηλεκτρόνιο πρέπει να καταναλώνεται σε μια καθοδική περιοχή. Καμία μεταλλική απώλεια δεν εμφανίζεται σε θέσεις που είναι εντελώς καθοδικές.

### Ηλεκτρολύτης:

Είναι το ηλεκτρικά αγώγιμο διάλυμα (π.χ. διάλυμα άλατος), που πρέπει να είναι παρόν για να συμβεί η διάβρωση. Σημειώνεται ότι το καθαρό νερό είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού.

Όταν τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε έναν ηλεκτρολύτη και του εφαρμόζεται μια τάση, ο ηλεκτρολύτης άγει τον ηλεκτρισμό. Δανείζοντας ηλεκτρόνια, δεν μπορεί να περάσει μέσω του ηλεκτρολύτη, αντ' αυτού, μια χημική αντίδραση λαμβάνει χώρα στην κάθοδο, καταναλώνοντας ηλεκτρόνια από την άνοδο. Μία άλλη αντίδραση λαμβάνει χώρα στην άνοδο, που παράγει

ηλεκτρόνια που τελικά μεταφέρονται στην κάθοδο. Ως αποτέλεσμα, ένα αρνητικό φορτίο (σύννεφο) αναπτύσσεται στον ηλεκτρολύτη γύρω από την κάθοδο, και ένα θετικό φορτίο αναπτύσσεται γύρω από την άνοδο. Τα ιόντα του ηλεκτρολύτη εξουδετερώνουν αυτά τα αποτελέσματα, ώστε τα ηλεκτρόνια να συνεχίσουν να ρέουν και οι αντιδράσεις να μπορούν να συνεχιστούν.

### Μεταλλική διαδρομή:

Τα δύο ηλεκτρόδια συνδέονται εξωτερικά από ένα μεταλλικό αγωγό. Στο μεταλλικό αγωγό, «συμβατικά» το ρεύμα ρέει από (+) προς (-). Το μέταλλο παρέχει μια διαδρομή για τη ροή των συμβατικών ρευμάτων η οποία είναι στην πραγματικότητα η διέλευση των ηλεκτρονίων στην αντίθετη κατεύθυνση.

## 2.3 Οξείδωση αλουμινίου

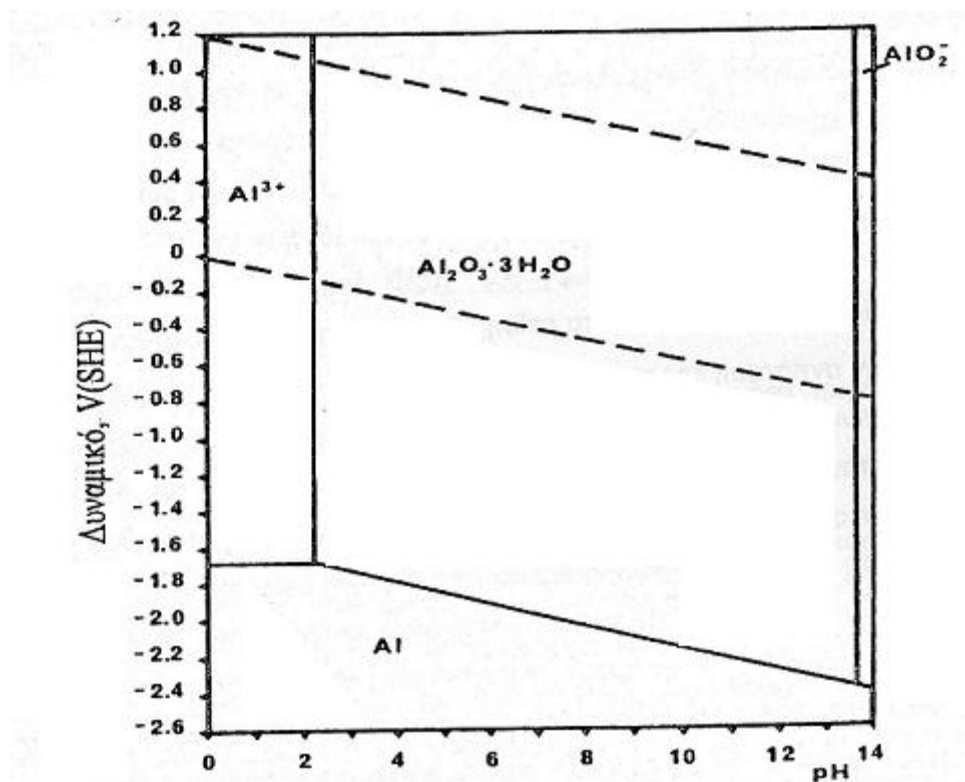
Το αλουμίνιο βρίσκεται ψηλά στην ηλεκτροδιακή σειρά των μετάλλων. Εν τούτοις έχει αποδειχθεί ένα από τα πιο χρήσιμα μέταλλα για κατασκευές εκτεθειμένες σε περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως βροχή και υγρασία. Το αλουμίνιο είναι σχετικά μη ανθεκτικό αλλά πολύ όγκιμο μέταλλο. Το μέτρο ελαστικότητας του είναι περίπου το ένα τρίτο του χάλυβα, κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι το αλουμίνιο παραμορφώνεται ελαστικά τρεις φορές περισσότερο από τον χάλυβα, κάτω από αντίστοιχη φόρτιση. Χρησιμοποιείται πολύ για αρχιτεκτονικά μέρη κατασκευών, για ηλεκτρικούς αγωγούς και σε οχήματα μεταφοράς.



*Εικόνα 25: Φύλλα αλουμινίου*

### 2.3.1 Γενικά

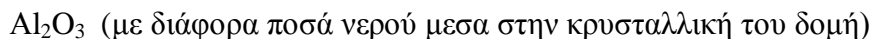
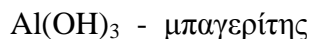
Το αλουμίνιο είναι θερμοδυναμικά σταθερό μόνο σε χαμηλά δυναμικά. Αυτό παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα του pH – δυναμικού:



Γραφική 4: Διάγραμμα δυναμικού – pH αλουμινίου

Με την παρουσία νερού δημιουργείται ένα στρώμα προστατευτικού οξειδίου  $Al_2O_3$ . Το αλουμίνιο έχει αντοχή οξειδίου μέχρι και pH 2.5, έχοντας μια ενεργότητα  $Al^{3+}$  της τάξης των  $10^{-1}$  M.

Αν το αλουμίνιο το εκθέσουμε στην ατμόσφαιρα με υγρασία και βροχή, δημιουργούνται τα εξής προϊόντα διάβρωσης:



Η έκθεση καινούριας επιφάνειας αλουμινίου σε ξηρό αέρα, παράγει ένα πυκνό και λεπτό, της τάξης των 100-200Å, άμορφο οξείδιο που προστατεύει την κάτω επιφάνεια. Αντιστοίχως, αν

το εκθέσουμε σε ένα πιο υγρό περιβάλλον, λαμβάνουμε ένα πιο παχύ οξείδιο. Το οξείδιο αυτό αποτελείται από το στρώμα δίπλα στο μέταλλο που είναι πυκνό και το στρώμα πιο έξω (προς το περιβάλλον) που είναι πιο αραιό και επιτρέπει την διόδo των ιόντων από μέσα του.

Στο περιβάλλον υπάρχουν διάφορα ιόντα που μπορούν να αντιδράσουν και να διαβρώσουν το αλουμίνιο. Βασικά ιόντα που βρίσκονται στο περιβάλλον είναι το  $\text{SO}_4^{2-}$  και το  $\text{Cl}^-$ . Όταν εναποτίθενται πάνω στην επιφάνεια του οξειδίου, δημιουργούν ευδιάλυτα άλατα όπως το  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  και το  $\text{AlCl}_3$  δημιουργώντας αλκαλικά άλατα και σύμπλοκα στους κρυστάλλους.

Το επίστρωμα του οξειδίου είναι προστατευτικό σε αστικό περιβάλλον (πιο ξηρό) με ρύπανση από διοξείδιο του θείου. Όμως το παραπάνω δημιουργεί πολύ χαμηλό pH στο λεπτό φιλμ της επιφάνειας. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα τόσο πιο χαμηλά θα πέσει το pH, με αποτέλεσμα το προστατευτικό οξείδιο να διαλυθεί.

Η παρουσία του ανιόντος του χλωρίου δημιουργεί βελονισμό στο αλουμίνιο, το οποίο στη συνέχεια διαλύεται ανοδικά ως  $\text{Al}^{3+}$  μέσα στον βελονισμό. Η καθοδική δράση γίνεται στα χείλη του βελονισμού.

Το παθητικό οξείδιο έχει μικρή ηλεκτρονική αγωγιμότητα αλλά η καθοδική αντίδραση καταστρέφει τοπικά το προστατευτικό οξείδιο εξαιτίας της αλκαλιοποίησης της περιοχής. Ως αποτέλεσμα αυτού είναι να μειώνεται το ηλεκτροδιακό δυναμικό.

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι τα προϊόντα διάβρωσης αναστέλλουν την λειτουργία του βελονισμού στο οξείδιο.

### 2.3.2 Διάβρωση και περιβαλλοντικοί παράγοντες

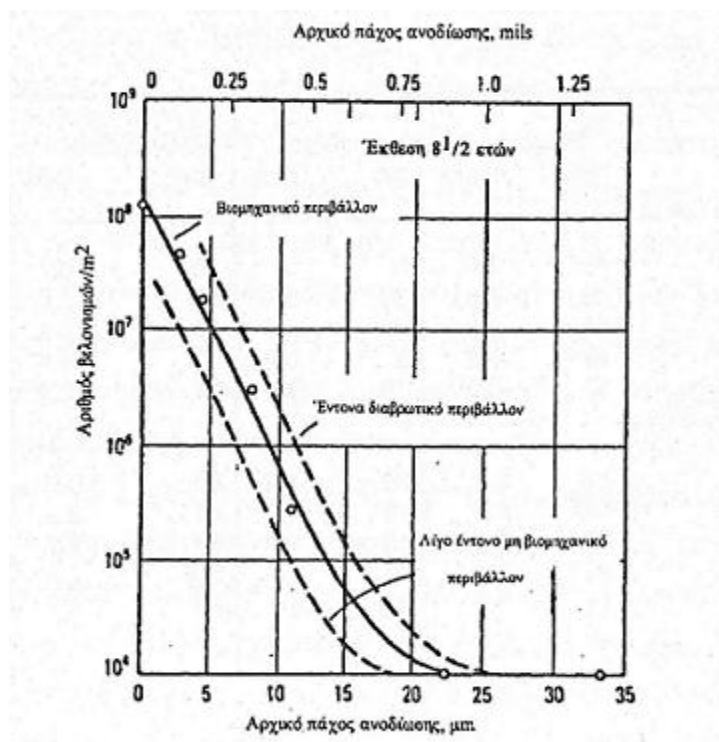
Το αλουμίνιο μπορεί να κρατήσει αναλλοίωτη τη γυαλιστερή του εμφάνιση για χρόνια, ακόμα και σε τροπικές συνθήκες. Η μοναδική προϋπόθεση για αυτό είναι το περιβάλλον να είναι καθαρό από ιόντα, όπως τα προαναφερθέντα.

Αν το περιβάλλον έχει υποστεί ρύπανση δημιουργούνται βελονισμοί που μόλις και φαίνονται με γυμνό μάτι. Στα πρώτα χρόνια, ο ρυθμός αύξησης του βάθους των βελονισμών είναι αυξανόμενος, και μόνο με το πέρασμα του χρόνου προσεγγίζει μια σταθερή τιμή.

Σε καθαρές ή σχετικά ρυπασμένες περιοχές, τα περισσότερα στοιχεία κραματοποίησης μειώνουν την αντίσταση του αλουμινίου στην διάβρωση. Αντιθέτως σε περιοχές που έχουν αυξημένη ποσότητα διοξειδίου του θείου, όπως βιομηχανικές περιοχές, η διάβρωση για το κραματοποιημένο, ή μη, αλουμίνιο είναι περίπου η ίδια.

Δεν μπορούμε να μετρήσουμε την διάβρωση του αλουμινίου με την διαφοροποίηση του βάρους (που είναι κοινός τρόπος μέτρησης της διάβρωσης). Ο λόγος είναι το φαινόμενο των βελονισμών πάνω στην επιφάνεια.





**Γραφική 5:** Αριθμός βελονισμών σε ανοδειωμένο αλουμίνιο σε σχέση με το πάχος ανοδείωσης

Από πειράματα έκθεσης που έχουν διεξαχθεί σε κράμα AlMn1.2 για 20 χρόνια, ο μέσος ρυθμός διάβρωσης είναι κάτω του 1μm/έτος. Αυτός ο ρυθμός ισχύει ακόμα και για ρυπασμένο περιβάλλον.

Επιπρόσθετα, οι βελονισμοί είναι ανάλογοι με το πόσο ρυπασμένο είναι το περιβάλλον. Ακόμα όμως και σε αρκετά ρυπασμένο περιβάλλον, το μέγιστο βάθος τους δεν δύναται να ξεπερνά τα 200μm στις πρώτες δεκαετίες έκθεσης τους.

Περιβάλλον	Μέσος ρυθμός διάβρωσης (από διαφορά βάρους μm/έτος)	Μέγιστο Βάθος βελονισμών μετά από 20 έτη
Αγροτικό	<0.1	10 – 55
Αστικό	1	100 – 190
Θαλάσσιο	0.4 – 0.6	85 - 260

**Πίνακας 1:** Τιμές μέσου ρυθμού διάβρωσης σε μm/έτος και μέγιστου βάθους βελονισμών ανάλογα με το περιβάλλον

Η παρουσία σκόνης στις καλυμμένες περιοχές της κατασκευής ευνοεί την συγκράτηση υγρασίας και ρυπαντών με αποτέλεσμα την δημιουργία βελονισμών. Ο παραπάνω συνδυασμός δημιουργεί ένα όξινο περιβάλλον στην επιφάνεια του αλουμινίου. Σε τέτοιες συνθήκες το προστατευτικό επίστρωμα από  $Al_2O_3$  δεν είναι σταθερό. Για αυτό και πρέπει να αποφεύγεται στο στάδιο του σχεδιασμού του.

### 2.3.3 Εφαρμογές

Το αλουμίνιο, και τα διάφορα του κράματα, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για αρχιτεκτονικούς σκοπούς, λόγω των καλών παθητικών ιδιοτήτων του στρώματος του οξειδίου τους.

Αν και αντιδρά στα ατμοσφαιρικά ιόντα, όπως το οξείδιο του θείου και το χλώριο, έχει δραματικά μεγαλύτερη αντοχή από άλλα υλικά και για αυτό προτιμάται στις κατασκευές. Η μηχανική αντοχή του αλουμινίου δεν αλλοιώνεται λόγω των βελονισμών παρά μόνο σε πολύ ρυπασμένο περιβάλλον.

Η διάβρωση του γίνεται ορατή με το μάτι από την σταδιακή αλλαγή του χρώματος του. Το λαμπερό χρώμα της επιφάνειας χάνεται και με το πέρασμα των χρόνων γίνεται γκρίζο από τα προϊόντα της διάβρωσής του.

Αν και το οξείδιο του αλουμινίου διαπερνάται από τα ιόντα του χλωρίου χρησιμοποιείται για κατασκευές στην θάλασσα. Είναι όμως επιρρεπές σε γαλβανική διάβρωση όταν έρθει σε επαφή με ένα πιο ευγενές μέταλλο, όπως το ανθρακούχο χάλυβα ή το χαλκό. Επιπρόσθετα, είναι πιο ευαίσθητο σε διάβρωση σε χαραγές. Χρησιμοποιείται για να προστατεύει τον ανθρακούχο χάλυβα ως προστατευτική μάσκα, που δεν τον προστατεύει καθοδικά στις άκρες των γυμνών επιφανειών.

## 2.4 Διάβρωση χάλυβα

Ο χάλυβας είναι στις μέρες μας ένα από τα πιο διαδεδομένα σε χρήση μέταλλα. Έχει καλά στοιχεία μηχανικής αντοχής, και είναι φθηνότερος από άλλα μέταλλα με την ίδια μηχανική αντοχή (λόγω του ότι υπάρχει σε αφθονία στη γη). Δυστυχώς, όμως, δεν μπορεί να υφίσταται μόνος του στην αρχιτεκτονική και τη μηχανολογία επειδή είναι, σε μεγάλο βαθμό, ενεργός όταν υποστεί εφύγραση. Μόνος του ο χάλυβας διαβρώνεται σε ταχύ ρυθμό. Το οξείδιο που δημιουργείται από αυτήν την αντίδραση είναι, η γνωστή σε όλους μας, σκουριά.



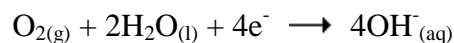
*Εικόνα 26: Οξείδωση χάλυβα (σκουριά)*

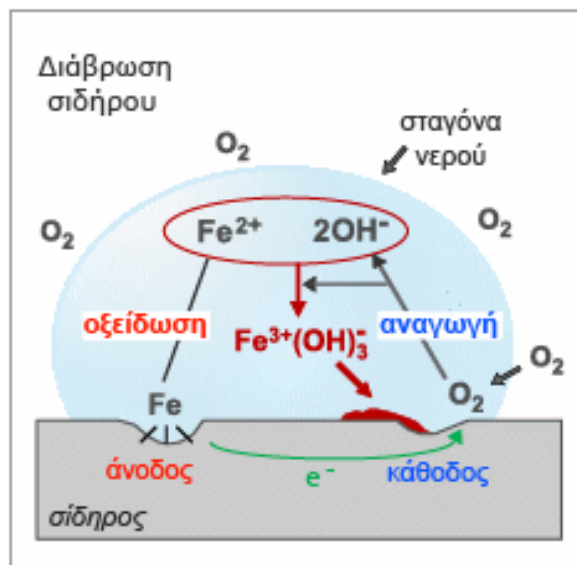
### 2.4.1 Ατμοσφαιρική διάβρωση χάλυβα

Η ατμόσφαιρα περιέχει πάντοτε ένα ποσοστό υγρασίας που συμπυκνώνεται, ιδιαίτερα όταν ο καιρός είναι υγρός, πάνω στην επιφάνεια των αντικειμένων. Λόγω προέλευσης, το στρώμα αυτό περιέχει διαλυμένα διάφορα ατμοσφαιρικά αέρια, ανάμεσα στα οποία και οξυγόνο. Ερχόμενος σε επαφή με το διαλυμένο οξυγόνο, ο σίδηρος οξειδώνεται προς κατιόντα  $\text{Fe}^{2+}$ :



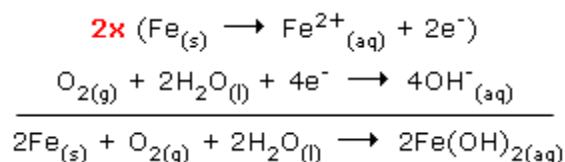
Η οξείδωση του σιδήρου γίνεται σε σημεία όπου η μεταλλική επιφάνεια παρουσιάζει ανωμαλίες και τα ηλεκτρόνια που παράγονται ανάγουν το οξυγόνο σύμφωνα με την ημιαντίδραση:



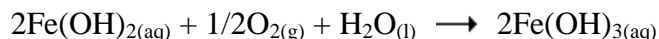


Εικόνα 27: Μηχανισμός διάβρωσης σιδήρου

Προσθέτοντας τις δύο ημιαντιδράσεις έχουμε το πρώτο στάδιο σχηματισμού της σκουριάς:



Στη συνέχεια, το υδροξείδιο του σιδήρου οξειδώνεται από το οξυγόνο προς υδροξείδιο του σιδήρου:



Το τελικό προϊόν, όταν ξηραθεί, δίνει τη σκουριά. Η σκουριά είναι ένυδρο οξείδιο του σιδήρου:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . Το ποσό του νερού που περιέχει ποικίλλει, όπως υποδηλώνει το γράμμα  $x$ , και είναι αυτό που καθορίζει το χρώμα της. Η σκουριά έχει λεπιοειδή υφή και θρυμματίζεται εύκολα φέρνοντας συνεχώς στην επιφάνεια νέο μέταλλο για αντίδραση.

Η σκουριά δε σχηματίζεται συνήθως στα σημεία που οξειδώνεται ο σίδηρος, αλλά σε πολύ μικρή απόσταση από αυτά. Αυτό συμβαίνει επειδή τα ηλεκτρόνια και τα κατιόντα σιδήρου που παράγονται κατά την οξείδωση, μπορούν να μεταφερθούν, μέσω του μετάλλου και της υγρής φάσης αντίστοιχα, σε περιοχές με μεγαλύτερη συγκέντρωση οξυγόνου. Έτσι δημιουργούνται τοπικά «γαλβανικά» στοιχεία όπου ο σίδηρος αποτελεί την άνοδο, οι περιοχές με σχετικά μεγάλη συγκέντρωση οξυγόνου την κάθοδο και το υδατικό διάλυμα των ιόντων σιδήρου χρησιμεύει σαν γέφυρα άλατος.

## 2.4.2 Η διάβρωση σε συνάρτηση με τον χρόνο και οι περιβαλλοντικές παραμέτροι

Όπως και με το αλουμίνιο έτσι και για τον χάλυβα, τα χαρακτηριστικά της διάβρωσης εξαρτώνται από το κλίμα που επικρατεί, το χρόνο που η επιφάνεια είναι υγρή, τον βαθμό ρύπανσης της περιοχής ή το ποσοστό του Cl στην θαλάσσια περιοχή.

Σε ρυπασμένες περιοχές υπάρχουν υψηλά ποσοστά οξειδίων του θείου. Γενικά τα θειικά επηρεάζουν την διάβρωση του χάλυβα παράγοντας συνθήκες για δημιουργία βελονισμών, αυξάνουν την αγωγιμότητα στα ροφημένα στρώματα υγρασίας αυξάνοντας το ηλεκτροχημικό ρεύμα. Επιπρόσθετα, επισπεύδουν την ανοδική διάλυση του χάλυβα σε pH από ουδέτερο ως και ελαφρά όξινο, και επηρεάζουν αρνητικά την παθητική συμπεριφορά της σκουριάς. Αν η σκουριά σχηματισθεί τον χειμώνα θα είναι λιγότερο προστατευτική από εκείνη που θα σχηματιζόταν το καλοκαίρι.

Γενικά η πρώτη σκουριά δεν είναι τόσο προστατευτική όσο αυτή που θα σχηματισθεί στο πέρας της πενταετίας. Με το πέραςμα του χρόνου, και ανάλογα με την διαβρωτικότητα της περιοχής, οι προστατευτικές ιδιότητες της σκουριάς αυξάνουν.

Σύμφωνα με τα παραπάνω έχει σχηματιστεί και η εξίσωση:

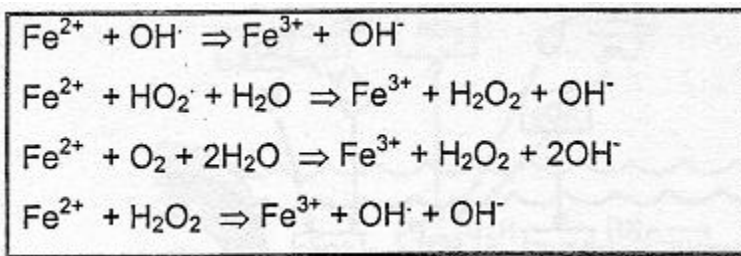
$$y = Kt^n$$

όπου:  $y$  η διάβρωση (το πάχος της διάβρωσης)

$K$  και  $n$  σταθερές

$t$  ο χρόνος

Αν η διάχυση μένει σταθερή μέσα από την προσκολλώμενη στην επιφάνεια σκουριά το  $n$  είναι 0.5. Αν ο συντελεστής διάχυσης μικρύνει λόγω μείωσης της πορώδους σκουριάς τότε και η τιμή του  $n$  θα είναι μικρότερη του προαναφερθέντος 0.5. Τέλος αν απομακρυνθεί η σκουριά από την επιφάνεια του προϊόντος τότε το  $n$  έχει μεγαλύτερες τιμές από 0.5.



*Πίνακας 2: Κύριες αντιδράσεις σε υγρό περιβάλλον*

$\text{Fe}(\text{OH})_2$
$\text{Fe}_3\text{O}_4$
$\text{Fe}^{\text{II}} \text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_x(\text{OH})_y$
$\text{Fe}^{\text{II}} \text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_x(\text{OH})_y$
$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$\alpha\text{-FeOOH}$
$\gamma\text{-FeOOH}$
$\delta\text{-FeOOH}$
$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
$\text{FeCl}_2$
$\text{FeCl}_2(\text{OH})_7$
$\text{FeOCl}$
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
$\text{FeCO}_3$
$\text{Fe}_4^{\text{II}}\text{Fe}_2^{\text{III}}(\text{OH})_{12}\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

*Πίνακας 3: Κύριες αντιδράσεις λόγω ρύπων στην ατμόσφαιρα*

### 2.4.3 Εφαρμογές

Αφού ο χάλυβας από μόνος του δεν μπορεί να προστατευτεί δημιουργώντας ένα προστατευτικό επίστρωμα μόνος του, πρέπει να καλύπτεται από κάποιο επίστρωμα με υλικό που έχει μεγαλύτερη αντοχή.

Για την προστασία των σιδερένιων και χαλύβδινων αντικειμένων από τη διάβρωση υπάρχουν διάφορες τεχνικές και υλικά επίστρωσης. Τα υλικά επίστρωσης (αντιδιαβρωτικές βαφές και λιπαντικά) προστατεύουν την επιφάνεια των αντικειμένων από την επαφή της με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Τον ίδιο σκοπό εξυπηρετεί και ο γαλβανισμός (επιψευδαργύρωση) και γενικότερα η επιμετάλλωση, η επίστρωση δηλαδή των επιφανειών με λιγότερο ευπαθή μέταλλα, όπως π.χ. το νικέλιο και το χρώμιο. Τέλος, υπάρχει και η μέθοδος της καθοδικής αντιδιαβρωτικής προστασίας, η οποία χρησιμοποιείται επιπρόσθετα στη βαφή με ασφαλτο για υπόγειους σωλήνες και δοχεία, όπως και για υδραυλικές εγκαταστάσεις από χάλυβα και μεταλλάκτες θερμότητας.

Παρόλα αυτά, η διάβρωση του σιδήρου παραμένει ένα σημαντικό οικονομικό και περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς εκτιμάται ότι το ποσοστό των σιδερένιων και χαλύβδινων

αντικειμένων, που αχρηστεύονται κάθε χρόνο λόγω διάβρωσης, αντιστοιχεί στο 1/3 με 1/4 της παγκόσμιας παραγωγής (χυτο)σιδήρου και χάλυβα ετησίως.

## 2.5 Ατμοσφαιρική διάβρωση ψευδαργύρου

Οι τεράστιες οικονομικές επιπτώσεις από κάθε μορφή διάβρωσης των σιδηρομεταλλικών προϊόντων, αλλά και οι πολλές άλλες δυσάρεστες συνέπειες που επακολουθούν, επέβαλαν επιτακτικά την ανάγκη για ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών, τόσο για την πρόβλεψη και την εκτίμηση του διαβρωτικού κινδύνου όσο και για την αντιδιαβρωτική προστασία των μετάλλων.

Στις μέρες μας η επιψευδαργύρωση και ο γαλβανισμός είναι τα κύρια μέτρα προστασίας των σιδηρομεταλλικών προϊόντων. Ο ψευδάργυρος, εκ φύσεως, έχει καλύτερη αντοχή από τον χάλυβα. Οι βασικοί παράγοντες που παίζουν ρόλο στην ατμοσφαιρική διάβρωση του ψευδαργύρου είναι η υγρασία (ή γενικώς η εφύγρανση) και η παρουσία στοιχείων στον αέρα, όπως το χλώριο, το διοξείδιο του άνθρακα και τα οξείδια του θείου.



*Εικόνα 28: Ψευδάργυρος*

### 2.5.1 Ιστορική αναδρομή

Μέσα στο πέρασμα των αιώνων, φιλόσοφοι, συγγραφείς και επιστήμονες παρατήρησαν το θέμα της διάβρωσης του χάλυβα και έκανα αναφορές και μελέτες πάνω σε αυτό το θέμα :

- Μια από τις αρχαιότερες (ίσως και η αρχαιότερη) αναφορά στην επιψευδαργύρωση μπορεί να βρεθεί σε μια Βαβυλωνιακή επιγραφή του 3ου αιώνα στην οποία αναφέρεται η χρήση του ψευδαργύρου ως μια φθηνή λύση για την προστασία του σιδήρου ή του χάλυβα. Καμία αναφορά σε ψευδάργυρο ή χρήση του δεν εμφανίζεται σε αρχαίες Ελληνικές ή Ρωμαϊκές γραφές, παρά το γεγονός ότι έχουν βρεθεί αξιόλογες ποσότητες ψευδαργύρου σε αρχαιολογικά ευρήματα. Βασική χώρα προέλευσης ψευδαργύρου ήταν η Κίνα και η Ινδία.
- Τον 16<sup>ο</sup> αιώνα εισήχθησαν στην Ευρώπη μεγάλες ποσότητες ψευδαργύρου από την Κίνα. Παρόλα αυτά, η χρήση του ψευδαργύρου στα μεταλλεία της Ευρώπης ξεκίνησε τον επόμενο αιώνα.
- Το 1741, ο Γάλλος χημικός Melonin για πρώτη φορά πραγματοποίησε πειράματα θερμής εμβάπτισης σε ψευδάργυρο.
- Ο Γερμανός Johann Wilhelm Ritter χρησιμοποίησε την μπαταρία του Volta για να αποθέσει ψευδάργυρο στο χάλυβα.

Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη αυτή διαδραμάτισε η κατασκευή μεγάλων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας όπως το δυναμό και η ηλεκτρομηχανική γεννήτρια καθώς και η εύρεση κατάλληλων ιόντων που χρησιμοποιούνταν ως πηγές μετάλλου στην ηλεκτροχημική δράση.

Μέχρι το 1830 οι επικαλύψεις χρησιμοποιούνταν για προστατευτικούς ή διακοσμητικούς λόγους και όχι σε μεγάλη κλίμακα.

Οι πρώτες ευρεσιτεχνίες περί ηλεκτρολυτικής επιψευδαργύρωσης (ηλεκτρογαλβανισμός) εκδόθηκαν στο Wall (Αγγλία) το 1852 και περιγράφουν όξινο διάλυμα για απόθεση ψευδαργύρου σε σίδηρο με χρήση βολταϊκών στοιχείων.

Άλλες αγγλικές ευρεσιτεχνίες ακολούθησαν το 1854, ενώ το 1855 ο Watt κατοχύρωσε την ευρεσιτεχνία του με το πρώτο κυανιούχο αλκαλικό λουτρό ψευδαργύρου.

Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1930, η πλειονότητα των επιψευδαργυρώσεων γινόταν με χρήση αδρανών όξινων διαλυμάτων που βασίζονταν στο θειικό και στο χλωριούχο ψευδάργυρο, είτε σε συνδυασμούς τους. Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, τα όξινα διαλύματα τροποποιήθηκαν με χρήση ρυθμιστικών διαλυμάτων, όπως το βορικό οξύ και το χλωριούχο αμμώνιο. Επίσης την ίδια περίοδο άρχισε και η έρευνα για την προσθήκη οργανικών προσθέτων στα ηλεκτρολυτικά λουτρά, τα οποία άλλαζαν δραστικά τη κρυσταλλική δομή των αποθεμάτων. Τέλος, την ίδια περίοδο, η τυπική σύνθεση λουτρού που χρησιμοποιήθηκε είναι η ακόλουθη:

<p>Θειικός ψευδάργυρος 100g          Θεικό νάτριο 20g          Χλωριούχος ψευδάργυρος 5g          Βορικό οξύ 2.5g          Γλυκόριζα 25g          Νερό 500mL          Θερμοκρασία δωματίου          Πυκνότητα ρεύματος 0.5 Adm<sup>-2</sup></p>
---

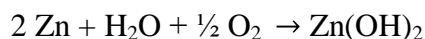


## 2.5.2 Έκθεση του ψευδάργυρου στην ατμόσφαιρα

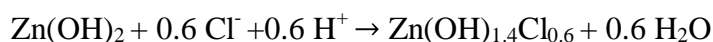
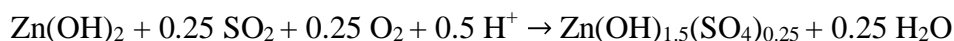
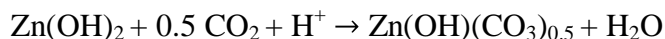
Γενικά τα προϊόντα διάβρωσης του ψευδάργυρου από την έκθεσή του στην ατμόσφαιρα είναι τα:

- ZnO
- Zn(OH)<sub>2</sub>
- ZnOH(CO<sub>3</sub>)<sub>0,5</sub>
- Zn(OH)<sub>1,2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>0,4</sub>
- Zn(OH)<sub>1,5</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>0,25</sub>
- ZnCO<sub>3</sub>
- Zn(OH)<sub>1,4</sub>Cl<sub>0,5</sub>
- ZnSO<sub>4</sub>
- Zn(OH)<sub>1,5</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>0,25</sub>

Σε υγρή ατμόσφαιρα ο ψευδάργυρος οξειδώνεται με τη δημιουργία Zn(OH)<sub>2</sub> όπως φαίνεται και στην παρακάτω χημική σχέση:



Κατά την αντίδραση αυτή γίνεται καθοδική αναγωγή του οξυγόνου και ανοδική οξείδωση του ψευδαργύρου. Το παραγόμενο υδροξείδιο του ψευδαργύρου αντιδρά με τους ρύπους που υπάρχουν στο αέρα (οξειδία του άνθρακα και του θείου όπως επίσης και τα χλωριόντα). Κατά αυτήν την αντίδραση, και αν έχει pH υψηλό, παράγει τα αντίστοιχα αλκαλικά άλατα ψευδαργύρου στην διεπιφάνεια υδροξειδίου και αέρα.



Όλα αυτά τα αλκαλικά άλατα του ψευδαργύρου λέγονται πατίνα ψευδαργύρου και προστατεύουν από την παραπέρα προσβολή.



*Εικόνα 29: Οξείδιο του Ψευδάργυρου*

Αν στην ατμόσφαιρα υπάρχει  $SO_x$ , τότε χαμηλώνει το pH και δεν παράγεται το  $Zn(OH)_2$  αλλά  $ZnSO_4$  όπου είναι υδατοδιαλυτό και μπορεί να παρασυρθεί και να ξεπλυθεί από τη βροχή. Από το παραπάνω συνεπάγεται ότι δεν προστατεύεται επαρκώς το υλικό και το αποτέλεσμα είναι ο ρυθμός διάβρωσης να είναι πολύ γρήγορος.

Αγροτικό Περιβάλλον	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)(CO_3)_{0,5}$
Αστικό ή Βιομηχανικό περιβάλλον	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)(CO_3)_{0,5}$
	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)_{1,5}(SO_4)_{0,25}$
	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)_{1,5}(SO_4)_{0,25} \rightarrow ZnSO_4$
Θαλάσσιο περιβάλλον	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)_{1,4}Cl_{0,5}$

Τα παραπάνω χλωρίοντα και θειικά δημιουργούν συνθήκες ιδανικές για τη διάβρωση στην επιφάνεια του υλικού. Με αποτέλεσμα να δημιουργούνται βελονισμοί στο υλικό.

Ατμόσφαιρα	Ρυθμός διάβρωσης, $\mu\text{m}/\text{έτος}$
Αγροτικό	0.2 – 2
Αστικό – Βιομηχανικό	2 – 16
Θαλάσσιο	0.5 - 8

*Πίνακας 5: Μέσοι ρυθμοί διάβρωσης στα τρία πιθανά περιβάλλοντα*

Οι επιφάνειες στο αστικό περιβάλλον και στο θαλάσσιο περιβάλλον, ακολουθούν το νόμο  $y=kt^n$  (νόμο που προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.4.2).

### **2.5.3 Τοποθέτηση πάνω από τον χάλυβα (θυσιαζόμενα μεταλλικά επιστρώματα)**

Μια από τις πιο διαδεδομένες και πολυχρησιμοποιούμενες μεθόδους αντιδιαβρωτικής προστασίας είναι τα θυσιαζόμενα μεταλλικά επιστρώματα. Αυτός ο τρόπος προσδίδει επιπλέον γαλβανική ικανότητα στην προστασία του μεταλλικού υποστρώματος. Υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μέθοδο είναι ο ψευδάργυρος, το αλουμίνιο, το μαγνήσιο, το κάδμιο και τα κράματά τους. Τα προαναφερθέντα υλικά έχουν ηλεκτρικό δυναμικό πιο αρνητικό από το χάλυβα και οι ηλεκτροχημικές ιδιότητες τους προσδίδουν καθοδική προστασία στα σιδηρούχα υποστρώματα.

Το πιο ευρέως χρησιμοποιημένο επίστρωμα είναι αυτό του ψευδάργυρου. Εκτιμάται ότι πάνω από 40% της παγκόσμιας παραγωγής του ψευδάργυρου χρησιμοποιείται για τον εν θερμώ γαλβανισμό του χάλυβα και του σιδήρου.

Η κύρια μέθοδος εναπόθεσης ψευδαργύρου σε δοκίμια χάλυβα και σιδήρου είναι ο γαλβανισμός με εμβάπτιση εν θερμώ (Hot-dip galvanizing). Εκτός αυτής, υπάρχουν άλλες 4 σημαντικοί μέθοδοι, όπου κάθε μια έχει τις ιδιαίτερες εφαρμογές της:

- Θερμικός ψεκασμός
- Ηλεκτραπόθεση
- Εξέλαση εν θερμώ
- Βάψιμο με επικαλυπτικό εμπλουτισμένο με σκόνη Zn

#### **2.5.3.1 Γαλβάνισμα με βύθιση εν θερμώ (hot-dip galvanising)**

Η εμβάπτιση εν θερμώ είναι η περισσότερο διαδεδομένη και αρχαιότερη διαδικασία επίστρωσης. Είναι μια σχετικά απλή διαδικασία κατά την οποία ο χάλυβας βυθίζεται σε λουτρό τετηγμένου ψευδαργύρου θερμοκρασίας 420 - 450 °C. Διακρίνονται δύο διαφορετικές διαδικασίες γαλβανισμού εν θερμώ, οι οποίες δημιουργούν διαφορετικές επιφάνειες ψευδαργύρου. Αυτές είναι:

- γαλβάνισμα κατά παρτίδα (στρώμα ψευδαργύρου πάχους 50-150  $\mu\text{m}$ ).
- γαλβάνισμα συνεχούς ταινίας(στρώμα ψευδαργύρου πάχους 10-30  $\mu\text{m}$ ).

Στην πρώτη διαδικασία, τα χαλύβδινα αντικείμενα, ξεχωριστά ή ανά ομάδες, βυθίζονται σε λουτρό τηγμένου ψευδαργύρου. Η βύθιση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός στρώματος ψευδαργύρου, το οποίο προκαλεί το σχηματισμό ενός μεγαλύτερου ή μικρότερου ποσού κράματος ψευδαργύρου-σιδήρου. Η στρώση ψευδαργύρου που πρόσκειται στην επιφάνεια του χάλυβα έχει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σίδηρο, συνήθως 30% περίπου. Η μεσαία στρώση περιέχει 6-12 % σίδηρο και η πάνω στρώση είναι καθαρός ψευδάργυρος. Η εξωτερική στρώση έχει συνήθως μια στιλπνή, λαμπερή διακοσμητική εμφάνιση.

Επειδή πολλές φορές το οξυγόνο και το μονοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας παγιδεύονται στον τηγμένο χάλυβα σχηματίζοντας οπές στη μεταλλική μήτρα, προστίθεται πυρίτιο (κατά τη διάρκεια του γαλβανίσματος) με τη μορφή σιδηροπυριτίου με σκοπό την αποφυγή των ατελειών, την απόκτηση τηγμένου χάλυβα χωρίς αέρια και την αποξείδωση.

Η δεύτερη διαδικασία, του συνεχούς γαλβανίσματος εν θερμώ, παράγει ένα αρκετά διαφορετικό επίστρωμα ψευδαργύρου. Στην περίπτωση αυτή ο χάλυβας με τη μορφή μιας συνεχούς ταινίας ή σύρματος καθαρίζεται από τα έλαια, τη σκόνη και τη σκουριά με θέρμανση σε κλίβανο. Στο πρώτο στάδιο όλοι οι οργανικοί ρυπαντές καίγονται με οξείδωση στους 500°C περίπου. Η επιφάνεια οξειδώνεται σε μορφή οξειδίου του τρισθενούς σιδήρου. Στη συνέχεια η ταινία περνάει σε μια ζώνη αναγωγής (και ταυτόχρονα ψύξης) όπου εισάγεται υδρογόνο σε θερμοκρασία 900 °C περίπου έτσι ώστε να προκύψει μια καθαρή χαλύβδινη επιφάνεια. Κατά τη διάρκεια της ψύξης μπορεί να λάβει χώρα μερική επανοξείδωση, αλλά αυτή εμποδίζεται από τη ροή αζώτου.

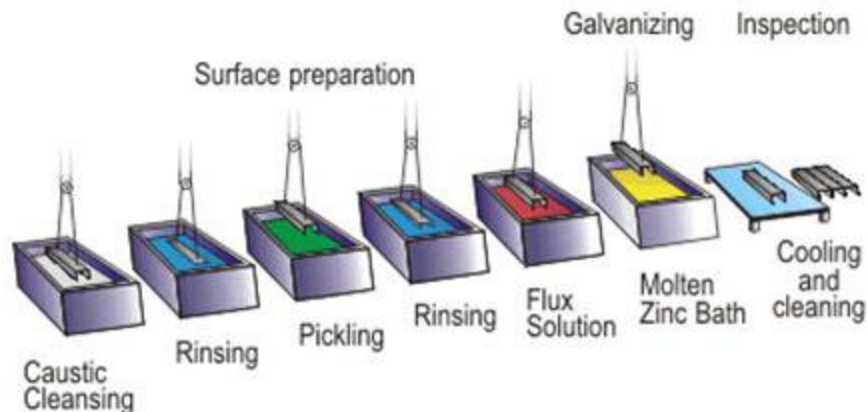
Το ολικό πάχος του στρώματος γαλβανίσματος εξαρτάται από:

- (α) τον τύπο και την επιφανειακή σκληρότητα του υποστρώματος του χάλυβα.
- (β) τη σύνθεση της επιφάνειας του χάλυβα.
- (γ) το χρόνο βύθισης.
- (δ) τη θερμοκρασία γαλβανίσματος.
- (ε) τον όγκο του χαλύβδινου τμήματος.

με σημαντικότερες παραμέτρους τις δύο πρώτες.

Για το σχηματισμό ενός επιστρώματος με ισχυρούς δεσμούς με το επίστρωμα αναγκαία συνθήκη είναι η κατάλληλα προετοιμασμένη επιφάνεια του επιστρώματος πριν από την εμβάπτιση. Η προετοιμασία αυτή συνίσταται από τρία στάδια καθαρισμού:

- 1) Απολίπανση – καθαρισμός με οξύ
- 2) Ξέπλυμα με νερό – Αναγωγή
- 3) Εμβάπτιση εν θερμώ



Εικόνα 30: Γραμμή διαδικασιών για εμβάπτιση εν θερμώ

#### Απολίπανση – καθαρισμός με οξύ:

Η απολίπανση επιτυγχάνεται είτε με χημικό καθαρισμό είτε με αλκαλικό. Το χημικό καθαρίσμα είναι κατάλληλο για όλα τα μέταλλα εκτός από το σίδηρο ο οποίος γρήγορα διαλύεται σε αλκαλικό διάλυμα. Η βενζίνη και το τριχλωροεθυλένιο είναι δύο βασικά υλικά που χρησιμοποιούνται σαν διαλυτικά.

Ο αλκαλικός καθαρισμός χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση ελαίων, λιπών και διάφορων οξειδίων από την επιφάνεια των δοκιμίων, σιδήρου και χάλυβα. Για τον αλκαλικό καθαρισμό χρησιμοποιούνται ενώσεις νατρίου (πυριτικό νάτριο, ανθρακικό νάτριο, υδροξείδιο του νατρίου, φωσφορικό νάτριο και οι συνδιασμοί αυτών είναι οι βασικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται).

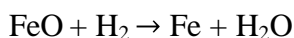
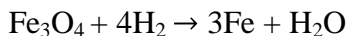
Στη συνέχεια το δοκίμιο καθαρίζεται με οξύ (*Pickling*). Ο καθαρισμός αυτός γίνεται με εμβάπτιση σε ένα διάλυμα οξέως είτε υδροχλωρικού οξέως 10-20% , είτε θεικού οξέως 5-15%, 60-80°C. Το πρώτο, όμως, οξύ υπερέχει από το δεύτερο στην απομάκρυνση και την μη επανεμφάνιση της σκουριάς.

#### Διαδικασία καθαρισμού (*Fluxing*):

Χρησιμοποιείται και σε συνεχή αλλά και σε τμηματικά επιστρώματα. Κατά τη διαδικασία αυτή, στο επίστρωμα του ψευδάργυρου παράγεται κράμα, με την απομάκρυνση του  $Fe_2O_3$  από το υπόστρωμα του χάλυβα και του  $ZnO$  στην επιφάνεια του λιωμένου  $Zn$  με ένωση από  $ZnCl_2$  και  $NH_4Cl$ .

### Διαδικασία αναγωγής:

Η διαδικασία της αναγωγής χρησιμοποιείται στην παρασκευή συνεχών επιστρωμάτων, γαλβανισμένων και με αλουμίνιο επιστρωμένων χαλύβων. Σ' αυτό το στάδιο η επιφάνεια του χάλυβα ενεργοποιείται. Αυτό σημαίνει ότι τα οξειδία του σιδήρου που βρίσκονται στην επιφάνεια ανάγονται με το υδρογόνο όπως φαίνεται στις εξής σχέσεις:



### **2.5.3.2 Γαλβάνισμα με ηλεκτραπόθεση (electroplating)**

Η ηλεκτραπόθεση είναι μια σημαντική διαδικασία γαλβανίσματος κατά την οποία ένα στρώμα ψευδαργύρου αποτίθεται ηλεκτροχημικά σε μια επιφάνεια χάλυβα. Τα τμήματα που πρόκειται να επιστρωθούν, πρέπει πρώτα να απολιπανθούν και να προκατεργασθούν με καθαρισμό δι' οξέος έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια καθαρή και λεία επιφάνεια. Στο λουτρό ηλεκτραπόθεσης ο χάλυβας αποτελεί τη κάθοδο και ένα έλασμα ή μια ράβδος ψευδαργύρου την άνοδο. Σύμφωνα με τη διαδικασία, το λουτρό περιέχει ένα όξινο ή αλκαλικό υδατικό διάλυμα αλάτων ψευδαργύρου. Κάτω από κατάλληλες συνθήκες τάσης και ρεύματος, ένα συμπαγές μη κραματοποιημένο στρώμα ψευδαργύρου θα αποτεθεί (στο χάλυβα) με πάχος που κυμαίνεται από 2.5 μέχρι 15  $\mu\text{m}$ .

Για επίστρωση σε χάλυβα με μορφή ταινίας ή σύρματος ακολουθείται η όξινη διαδικασία σε ελαφρά ανυψωμένες θερμοκρασίες. Τα περισσότερα από τα επιψευδαργυρωμένα με ηλεκτρισμό ελάσματα παθητικοποιούνται μετά το λουτρό του ψευδαργύρου. Η παθητικοποίηση γίνεται με φωσφάτωση ή χρωμικοποίηση. Για τα μικρά τμήματα χάλυβα προτιμάται η διαδικασία της ηλεκτραπόθεσης σε έλικτρα, κατά την οποία τα χαλύβδινα τμήματα τοποθετούνται σε ένα περιστρεφόμενο κύλινδρο έτσι ώστε από τη μεταξύ τους επαφή να γίνονται κάθοδοι και ένα βυθισμένο έλασμα ή ράβδος αποτελεί την άνοδο. Ομοίομορφα επιστρώματα αποκτούνται με αυτόν τον τρόπο ακόμα και στην περίπτωση αντικειμένων ακανόνιστου σχήματος.

### **2.5.3.3 Γαλβάνισμα με ψεκασμό ψευδαργύρου (metal spraying with zinc)**

Μεγάλα χαλύβδινα αντικείμενα, όπως τμήματα γέφυρας, γερανού κ.λ.π., δεν μπορούν να βυθιστούν σε λουτρό ψευδαργύρου εξαιτίας του μεγέθους τους. Αυτά τα αντικείμενα πρέπει να επιστρωθούν είτε με ψεκασμό μεταλλικού ψευδαργύρου είτε με εφαρμογή οργανικών επιστρωμάτων πλούσιων σε ψευδάργυρο.



*Εικόνα 31: Γαλβάνισμα με ψεκασμό ψευδαργύρου*

#### **2.5.3.4 Έλεγχος του πάχους του επιστρώματος και ομοιομορφία**

Ο έλεγχος του πάχους του επιστρώματος γίνεται με ένα ζευγάρι κυλίνδρων μερικώς εμβαπτισμένων που τοποθετούνται στο τέλος του λουτρού. Ενόσο ο ψευδάργυρος είναι ακόμα υγρός, μπορούμε να ελέγξουμε το πάχος πάνω στα δοκίμια που επικαλύπτουμε.

Στην συνεχή εμβάπτιση εν θερμώ, αυτό το πάχος κυμαίνεται από 13 ως 18  $\mu\text{m}$  και το ολικό πάχος συνήθως ελέγχεται στα 25 με 31  $\mu\text{m}$ .

Στα καλώδια τώρα, η εμβάπτιση γίνεται σε λιγότερο χρόνο. Ο λόγος είναι ότι θέλουμε λεπτότερο επίστρωμα πάνω τους.

Η ομοιομορφία του επιστρώματος γίνεται αφαιρώντας το δοκίμιο πολύ αργά από το λουτρό ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη αποστράγγιση.

#### **2.5.4 Αντίσταση στην διάβρωση επιστρωματων από ψευδάργυρο**

Τα θυσιαζόμενα μεταλλικά επιστρώματα με εμβάπτιση εν θερμώ προστατεύουν με 3 κυρίως τρόπους:

- 1) Μηχανισμό φραγμού το αρχικού επιστρώματος
- 2) Μηχανισμό φραγμού του στρώματος των προϊόντων διάβρωσης
- 3) Γαλβανική δράση του επιστρώματος σαν θυσιαζόμενη άνοδος

### Μηχανισμό φραγμού το αρχικού επιστρώματος:

Αυτός ο μηχανισμός δρα μέχρι το δευτερεύον στρώμα των προϊόντων διάβρωσης σχηματιστεί στην επιφάνεια του δοκιμίου. Είναι συνέπεια των ηλεκτροχημικών ιδιοτήτων βασισμένη στην δομή του επιστρώματος.

Πρέπει να τονισθεί ότι η αντιδιαβρωτική συμπεριφορά του γαλβανισμένου χάλυβα για μεγάλο χρόνο έκθεσης σε διαβρωτικές συνθήκες δεν επηρεάζεται από τη δομή του μετάλλου.

### Μηχανισμό φραγμού του στρώματος των προϊόντων διάβρωσης:

Κατά τον μηχανισμό αυτό παρατηρείται μια αρχικά επιταχυνόμενη διάβρωση. Αυτά τα προϊόντα της διάβρωσης σχηματίζονται και μετατρέπονται σε ένα σταθερό στερεό στρώμα μετά από αρκετό χρονικό διάστημα έκθεσης. Στην συνέχεια ο ρυθμός της διάβρωσης μειώνεται και σταθεροποιείται.

Η σταθερότητα των αλάτων του ψευδαργύρου, που σχηματίζεται στα δοκίμια, εξαρτάται από το pH και από την συγκέντρωση ιόντων του ηλεκτρολύτη στο Zn.

### Γαλβανική δράση του επιστρώματος σαν θυσιαζόμενη άνοδος:

Ένα δοκίμιο εκτείνεται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας μιας μηχανικής καταστροφής. Στην εκτεθειμένη περιοχή δημιουργείται γαλβανικό στοιχείο μεταξύ του δοκιμίου και του γύρω επιστρώματος του ψευδαργύρου.

Τα θυσιαζόμενα μέταλλα έχουν πιο αρνητικό ηλεκτροχημικό δυναμικό από τα άλλα μέταλλα και, συνεπώς, δρουν σαν άνοδοι και το εκτεθειμένο μέταλλο σαν κάθοδος. Έτσι η διάλυση του μεταλλικού επιστρώματος γύρω από το εκτεθειμένο μέρος επιταχύνεται, και το εκτεθειμένο τμήμα του βασικού μετάλλου προστατεύεται από την διάβρωση.

Στην ατμόσφαιρα, ο ψευδάργυρος δρα ως θυσιαζόμενη άνοδος, αλλά μόνο για λίγες μέρες. Η ενεργή επιφάνεια του καλύπτεται κυρίως από  $Zn(OH)_2$  και από άλλα βασικά άλατα του ψευδαργύρου και παθητικοποιείται από αυτά.

Από τη στιγμή που παθητικοποιείται η επιφάνεια του ψευδαργύρου, όπου έχει μεγαλύτερη ανοδική πόλωση, το δυναμικό διάβρωσης του Zn αυξάνει το επίστρωμα περί του εκτεθειμένου μέρους και χάνει την γαλβανική του ιδιότητα.



## **Κεφάλαιο 3: Πειραματικό κομμάτι**

### **3.1 Εισαγωγή**

Η διάβρωση των βάσεων των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ένα πρόβλημα που επηρεάζει την απόδοση τους, αλλά ως σήμερα δεν έχει ακόμα μελετηθεί πλήρως. Κατά το φαινόμενο αυτό, αναπτύσσονται ρεύματα που διατρέχουν την βάση του φωτοβολταϊκού, πράγμα που δεν θα έπρεπε να συμβαίνει αφού θεωρητικά οι βάσεις γειώνονται. Τα ρεύματα αυτά επιφέρουν πιθανή πρόωρη γήρανση στα φωτοβολταϊκά.

Σκοπός μας σε αυτή την εργασία είναι, μέσα από ένα πειραματικό κομμάτι, να δούμε ποιος από τους τρόπους διασύνδεσης, χάλυβα και αλουμινίου, που δοκιμάσαμε εργαστηριακά φέρνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Δηλαδή ποιος τρόπος διασύνδεσης επιφέρει μικρότερη οξειδωση στα δυο μέταλλα.

Οι τρόποι διασύνδεσης του χάλυβα και του αλουμινίου που διαλέξαμε να πειραματιστούμε πάρθηκαν από υπαρκτές συνθέσεις βάσεων που βρήκαμε στο εμπόριο, όπως προαναφέραμε στο κεφάλαιο 2.1.

Συγκεκριμένα τα δοκίμια μας χωρίστηκαν στα εξής:

- (1) Σκέτη σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο
- (2) Σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο με ενδιάμεσο στοιχείο ανοξειδωτή ροδέλα
- (3) Σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο με ενδιάμεσο στοιχείο λαστιχοταινίας καουτσούκ
- (4) Σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο με ενδιάμεσο στοιχείο πλαστικό 6mm
- (5) Σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο με ενδιάμεσο στοιχείο εποξειδική ρητίνη
- (6) Σύνδεση χάλυβα με ανοδιωμένο αλουμίνου στα 18μm

Στο πείραμα αυτό, δημιουργήθηκαν δύο ομάδες που η κάθε μια είχε αυτούς τους έξι συνδυασμούς έτσι ώστε να συγκρίνουμε και τα μεταξύ τους αποτελέσματα.

Τα παραπάνω δοκίμια τα υποβάλαμε σε επιταχυνόμενη δοκιμή γήρανσης 1000 ωρών. Αυτό το καταφέραμε με το μηχάνημα της αλατονέφωσης.

Στόχος μας ήταν, το μηχάνημα, να καταναλώνει περίπου 20 λίτρα νερό και 1 κιλό καθαρό αλάτι ημερησίως.

Πριν τα εναποθέσουμε στο μηχάνημα της αλατονέφωσης μετρήσαμε με παχύμετρο δινορευμάτων το πάχος της γαλβάνωσης του χάλυβα και το πάχος της οξειδωσης του αλουμινίου, που θεωρητικά έπρεπε να είναι κοντά στο 0-1μm.

Τέλος, με το πέρασμα των 1000 ωρών υποβολής τους στην αλατονέφωση, καθαρίσαμε το γαλβανισμένο χάλυβα με αμμωνία 20% καθαρότητας και τα αλουμίνια με θειικό οξύ έτσι

ώστε να φύγουν τα επιφανειακά άλατα που θα μας επηρέαζαν τις μετρήσεις του θα κάναμε στην συνέχεια.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών θα μας δείξει ποιος τρόπος από τους έξι θα έχει τα καλύτερα αποτελέσματα, δηλαδή ποιο δοκίμιο θα έχει την μικρότερη διάβρωση του επιπευδαργυρωμένου χάλυβα.

### 3.1.1 Αλατονέφωση

Η δοκιμή αλατονέφωσης είναι μια τυποποιημένη μέθοδος δοκιμής που χρησιμοποιείται για να ελέγξει τη διαβρωτική αντίσταση των επικαλυμμένων δειγμάτων. Οι επιστρώσεις παρέχουν αντίσταση στη διάβρωση στα μεταλλικά μέρη. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε υλικά που έχουν βάση τον σίδηρο, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε δοκιμές οργανικών ή μη οργανικών επιστρώσεων

Η συσκευή που απαιτείται για την αλατονέφωση αποτελείται από ένα θάλαμο ψεκασμού ομίχλης. Μια δεξαμενή όπου τοποθετείται το διάλυμα νερού με άλας. Ένα κομπρεσέρ που παρέχει συμπιεσμένο αέρα και ένα μετασχηματιστή για να ρυθμίζεται η θερμοκρασία των συνθηκών που υπάρχουν μέσα στον θάλαμο της αλατονέφωσης.



*Εικόνα 32: Μηχάνημα ψεκασμού αλατονέφωσης*

Οι σταγόνες του διαλύματος που συσσωρεύονται επί της οροφής δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με τα δοκίμια. Αντιστοίχως το ίδιο ισχύει και για το διάλυμα που μαζεύεται κάτω στο δάπεδο του μηχανήματος. Για να αποφευχθεί η επαφή των δοκιμίων, τα κρεμάμε από ένα υποστήριγμα δειγμάτων.

Δεδομένου ότι οι επικαλύψεις μπορούν να παρέχουν ένα μέσω για μια υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, είναι απαραίτητο να ελεγχθεί η αντοχή στη διάβρωση με άλλα μέσα. Η αλατισμένη δοκιμή ψεκασμού είναι μια επιταχυνόμενη δοκιμή διάβρωσης που παράγει μια διαβρωτική επίθεση στα επικαλυμμένα δείγματα προκειμένου να προβλεφθεί η καταλληλότητά τους σε χρήση ως προστατευτικό επίστρωμα. Η εμφάνιση των προϊόντων διάβρωσης, οξείδια, αξιολογείται μετά από ένα χρονικό διάστημα που ορίζεται στην αρχή. Η διάρκεια δοκιμής εξαρτάται από την αντίσταση στη διάβρωση της επικάλυψης, όσο πιο ανθεκτικά στη διάβρωση είναι, τόσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος που θα αντέξουν τα αντίστοιχα δοκίμια σε περιβαλλοντικές συνθήκες.

Για να δημιουργηθεί το διάλυμα για την αλατονέφωση χρειάζονται οι εξής αναλογίες:

- 20 λίτρα απιονισμένο ή απεσταγμένο νερό
- 1 κιλό καθαρό αλάτι

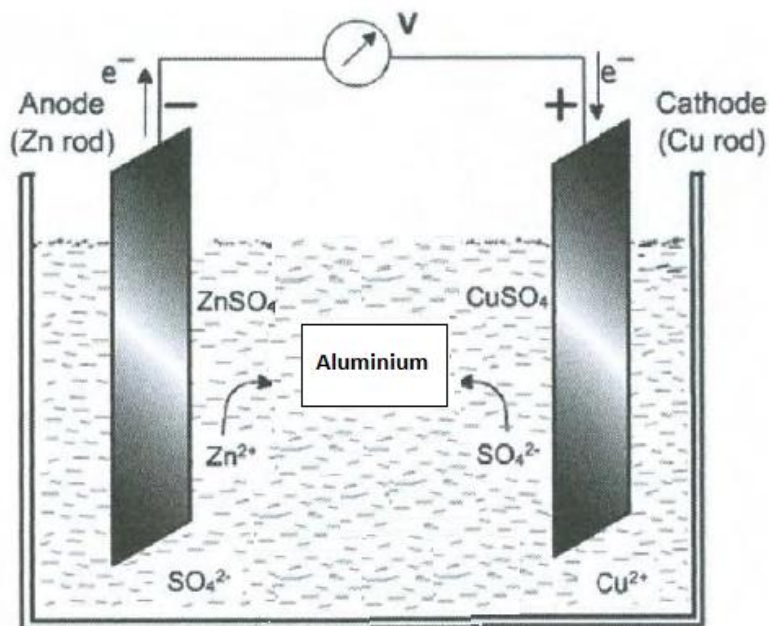
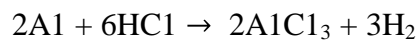
Στην περίπτωση αυτού του πειράματος, προσπαθήσαμε να παρέχουμε 20, περίπου, λίτρα την ημέρα ρυθμίζοντας αντίστοιχα την παροχή του συμπιεσμένου αέρα για 1000 συνεχείς ώρες.

### **3.1.2 Ανοδίωση**

Η ανοδίωση είναι μία ηλεκτροχημική διεργασία για την επεξεργασία της επιφάνειας του αλουμινίου. Κατά τη διάρκεια αυτής της διεργασίας, δημιουργείται μία στοιβάδα οξειδίου του αλουμινίου το οποίο βελτιώνει την αντοχή και την εμφάνισή του.

Το ανοδιωμένο στρώμα αλουμινίου δημιουργείται με τροφοδότηση ενός συνεχούς ρεύματος μέσω ενός ηλεκτρολυτικού διαλύματος, με το αντικείμενο του αλουμινίου να χρησιμοποιείται ως άνοδος (το θετικό ηλεκτρόδιο). Το ρεύμα απελευθερώνει υδρογόνο στην κάθοδο (το αρνητικό ηλεκτρόδιο) και οξυγόνο στην επιφάνεια του ανοδιωμένου αλουμινίου, δημιουργώντας μια συσσώρευση του οξειδίου του αλουμινίου. Η τάση που απαιτείται από διάφορες λύσεις μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως 300V DC, αν και πιο σύνηθες είναι τα 15 έως 21V.

Η ανοδίωση του αλουμινίου εκτελείται συνήθως σε ένα διάλυμα οξέος, το οποίο διαλύει αργά το οξύ του αργιλίου. Το οξική δράση είναι ισορροπημένη με το ρυθμό οξείδωσης για να σχηματίσει μία επικάλυψη με πόρους που κυμαίνονται μεταξύ 10-150nm σε διάμετρο. Αυτοί οι πόροι είναι αυτά που επιτρέπουν το διάλυμα ηλεκτρολύτη και ρεύμα να φθάσει το υπόστρωμα αλουμινίου και συνεχίσει να αυξάνεται το επίστρωμα σε μεγαλύτερο πάχος πέρα από αυτό που παράγεται από την αυτοπαθητικοποίηση.



Εικόνα 33: Διαδικασία ανοδίωσης αλουμινίου

### 3.1.3 Εποξειδική ρητίνη

Οι εποξειδικές κόλλες οι πλέον διαδεδομένες και ενδεδειγμένες πολυμερικές κόλλες που χρησιμοποιούνται στις επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος . Προκύπτουν από την-επί τόπου-ανάμειξη δύο συστατικών , ενός συστατικού Α που βρίσκεται σε υγρή κατάσταση και είναι η εποξειδική ρητίνη και ενός συστατικού Β που είναι ο σκληρυντής . Στην πράξη έχει επικρατήσει η ονομασία ρητίνη υπονοώντας την ρητινοειδή κόλλα.

### 3.2 Πίνακες πρώτων μετρήσεων

Στο πείραμα αυτό λάβαμε 10 μετρήσεις αρχικού πάχους από κάθε δοκίμιο επιμεταλλωμένου χάλυβα και αλουμινίου, σε κάθε πλευρά τους. Τις μετρήσεις αυτές τις κάναμε με ειδικό παχύμετρο δινορευμάτων.



*Εικόνα 32: Παχύμετρο δινορευμάτων που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πείραμα*

Το παραπάνω όργανο παίρνει μετρήσεις και ομαδοποιώντας τις μας δίνει τον μέσο όρο τους, την υψηλότερη τιμή και τη χαμηλότερη καθώς και τη μέση τυπική απόκλιση των 10 τιμών.

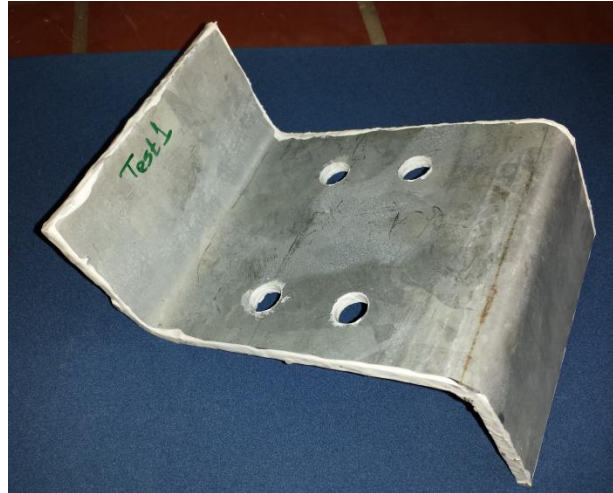
Παρακάτω εναποθέτουμε τα στοιχεία που πήραμε από τις μετρήσεις μας και στα δύο μέταλλα, επιψευδαργυρωμένο χάλυβα και αλουμίνιο.

Τα δοκίμια έχουν αριθμηθεί με την σειρά που τα αναφέραμε στο κεφάλαιο 3.1 για χάρη συντόμευσης.

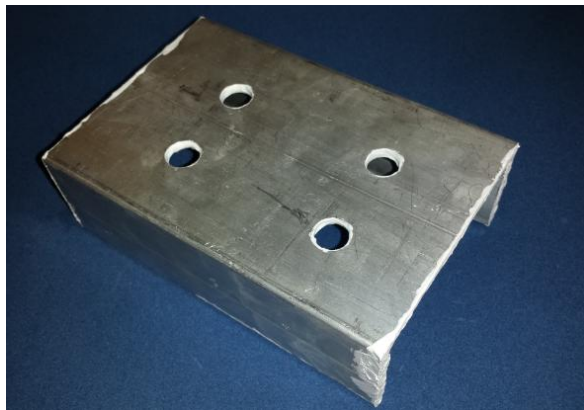
- Test 1 - Σκέτη σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο
- Test 2 - Σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο με ενδιάμεσο στοιχείο ανοξειδωτη ροδέλα
- Test 3 - Σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο με ενδιάμεσο στοιχείο λαστιχοταινίας καουτσούκ
- Test 4 - Σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο με ενδιάμεσο στοιχείο πλαστικό 6mm
- Test 5 - Σύνδεση χάλυβα με αλουμίνιο με ενδιάμεσο στοιχείο εποξειδική ρητίνη
- Test 6 - Σύνδεση χάλυβα με ανοδιωμένο αλουμίνου στα 18μm

### 3.2.1 Ενδεικτικά δοκίμια όπου έγιναν οι μετρήσεις

Τα δοκίμια θα παρουσιαστούν πλήρως στο κεφάλαιο 4 αλλά σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν δύο ενδεικτικά έτσι ώστε να υπάρχει μια πρώτη επαφή του αναγνώστη με το τι παρατίθεται στους παρακάτω πίνακες.



*Εικόνα 33& 34: Ενδεικτικό δοκίμιο επιψευδαργυρωμένου χάλυβα*



*Εικόνα 35 & 36: Ενδεικτικό δοκίμιο αλουμινίου*

### 3.2.2 Πίνακας επιψευδαργύρωσης χάλυβα

Για να υπολογίσουμε πόσο είναι το πάχος της γαλβάνωσης μετρήσαμε με το παχύμετρο δινορευμάτων τις επιψευδαργυρωμένες επιφάνειες. Πήραμε 10 μετρήσεις σε κάθε πλευρά από τα 6 δοκίμια και κρατήσαμε τον μέσο όρο κάθε «ομάδας» 10 μετρήσεων. Με τις μετρήσεις μας δημιουργήσαμε τον παρακάτω πίνακα:

	Πλευρά 1 ( η πλευρά που συνδέεται με το αλουμίνιο)				Πλευρά 2			
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Απόκλιση (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Απόκλιση (μm)
Test 1α	91,2	96,8	83,0	3,9	101,0	114,0	89,9	7,3
Test 2α	84,9	95,0	76,3	5,0	99,0	114,0	89,7	8,2
Test 3α	101,0	110,0	96,1	6,6	90,0	97,6	83,6	3,7
Test 4α	95,1	118,0	84,6	9,2	91,4	96,8	85,4	3,9
Test 5α	105,0	119,0	96,5	7,4	89,2	92,3	82,3	3,1
Test 5α με εποξειδική ρητίνη	735	995	473	194	---	---	---	---
Test 6α	69,3	80,1	63,5	5,6	68,2	74,3	61,8	4,7

	Πλευρά 1 ( η πλευρά που συνδέεται με το αλουμίνιο)				Πλευρά 2			
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Απόκλιση (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Απόκλιση (μm)
Test 1β	85,7	94,8	77,3	5,6	94,3	118,0	82,3	11,2
Test 2β	92,5	106,0	83,0	7,2	92,3	98,0	83,5	4,4
Test 3β	97,8	108,0	86,9	7,4	89,3	94,5	84,4	3,1
Test 4β	105,0	116,0	98,0	5,7	86,8	92,9	82,0	3,8
Test 5β	102,0	109,0	89,7	6,7	89,1	92,9	84,0	3,0
Test 5β με εποξειδική ρητίνη	829,0	1295,0	412,0	329,0	---	---	---	---
Test 6β	68,4	75,9	62,2	3,5	72,4	87,6	65,6	6,0

Πίνακας 6 & 7: Μετρήσεις γαλβάνωσης του χάλυβα πριν την εναπόθεση τους στην αλατονέφωση

Παρατηρούμε πως το μέσο πάχος επιψευδαργύρωσης είναι περίπου στα 96μm. Γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος τόσο πιο ανθεκτικό στον χρόνο και στις οξειδώσεις είναι το δοκίμιο.

### 3.2.3 Πίνακας πάχους οξείδωσης αλουμίνιου

Αντίστοιχα εργαστήκαμε και στην μέτρηση της αρχικής οξείδωσης των αλουμινίων. Λάβαμε 10 μετρήσεις από κάθε πλευρά του κάθε δοκιμίου και κρατήσαμε το μέσο όρο, τη ψηλότερη και την χαμηλότερη τιμή και την μέση απόκλιση του.

	Πλευρά 1 ( η πλευρά που συνδέεται με το χάλυβα)				Πλευρά 2			
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Απόκλιση (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Απόκλιση (μm)
Test 1α	2,0	4,0	1,0	1,0	2,0	3,0	0,0	1,0
Test 2α	3,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	1,0	1,0
Test 3α	2,0	3,0	1,0	1,0	2,0	4,0	0,0	1,0
Test 4α	4,0	6,0	1,0	2,0	3,0	4,0	1,0	1,0
Test 5α	2,0	3,0	1,0	1,0	2,0	3,0	0,0	1,0
Test 6α (ανοδιωμένο)	18,0	18,0	17,0	0,0	18,0	19,0	16,0	1,0

	Πλευρά 1 ( η πλευρά που συνδέεται με το χάλυβα)				Πλευρά 2			
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Απόκλιση (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Απόκλιση (μm)
Test 1β	2,0	3,0	1,0	1,0	2,0	4,0	0,0	1,0
Test 2β	2,0	4,0	1,0	1,0	2,0	4,0	2,0	1,0
Test 3β	3,0	4,0	1,0	1,0	2,0	3,0	1,0	1,0
Test 4β	2,0	4,0	0,0	2,0	3,0	4,0	1,0	1,0
Test 5β	3,0	4,0	2,0	1,0	2,0	3,0	0,0	1,0
Test 6β (ανοδιωμένο)	18,0	18,0	17,0	0,0	18,0	19,0	16,0	1,0

*Πίνακας 8 & 9: Μετρήσεις οξείδωσης του αλουμίνιου πριν την εναπόθεση τους στην αλατονέφωση*



Εδώ παρατηρούμε πως ότι γενικά το αλουμίνιο που χρησιμοποιήθηκε είχε ένα αρχικό πάχος οξείδωσης 2 με 3μm. Το ανοδιωμένο, εν αντιθέσει είχε 18μm.

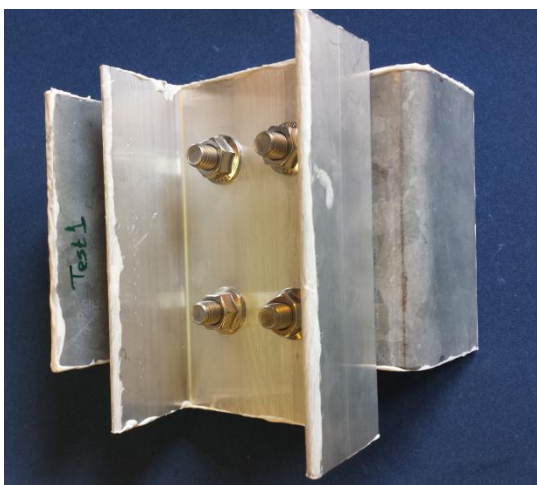
## Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα πειράματος

### 4.1 Σύγκριση 12 δειγμάτων πριν και μετά την αλατονέφωση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε αναλυτικά πόσο και πως επηρεάστηκαν τα 12 δείγματα που τοποθετήσαμε στην αλατονέφωση. Επιπροσθέτως θα παρατεθούν φωτογραφίες που λήφθηκαν πριν και μετά το πείραμα.

Τα δοκίμια τα χωρίσαμε σε 6 μέρη και πήραμε 10 μετρήσεις για κάθε μέρος τους. Στη συνέχεια καταγράψαμε το μέσο όρο, την υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή και τη μέση απόκλιση, όπως κάναμε και πριν την αλατονέφωση.

#### 4.1.1 Δοκίμιο 1α



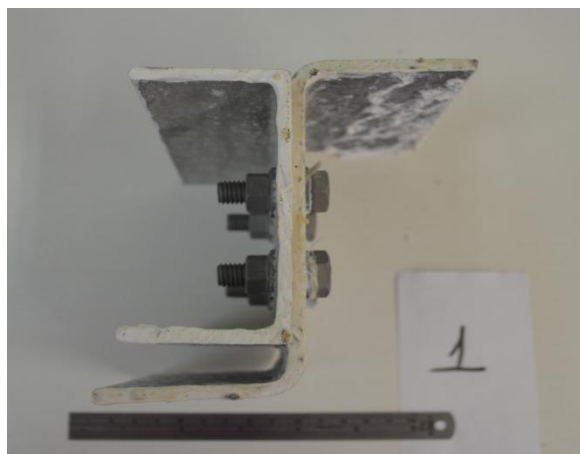
(α)



(β)

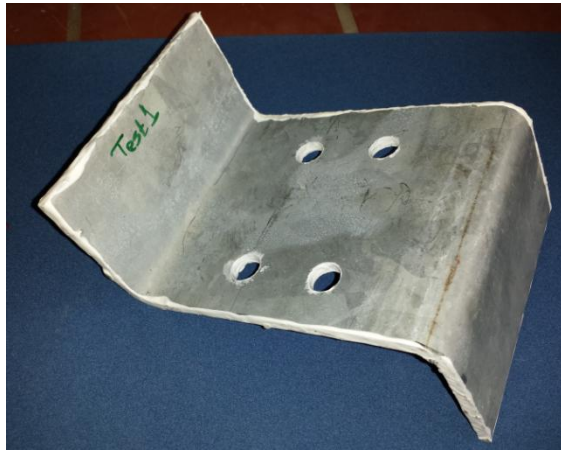


(γ)

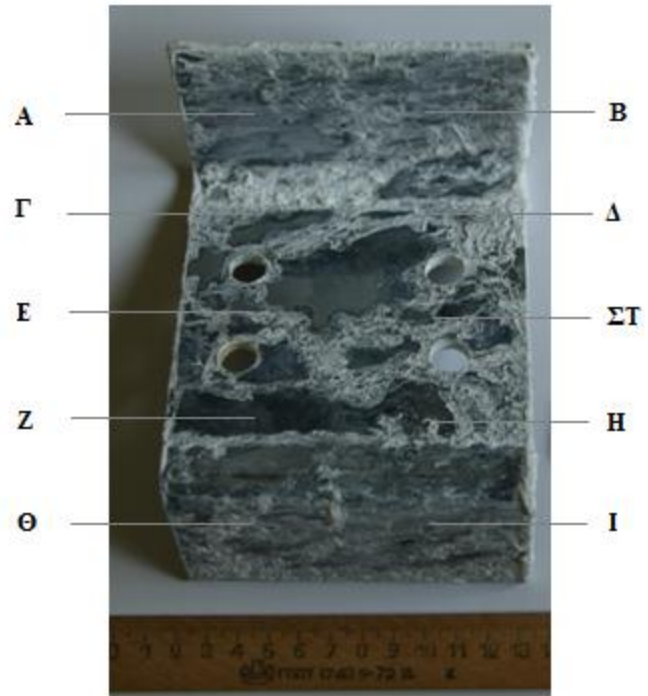


(δ)

*Εικόνα 37: (α) Δοκίμιο 1α πριν την αλατονέφωση  
(β), (γ), (δ) Δοκίμιο 1α μετά την αλατονέφωση*



(α)



(β)

**Εικόνα 38:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	61,6	78,3	71,6	78,3	54,9	53,4	70,8	60,4	89,5	91,4
<b>High</b>	83,8	88,2	93,6	88,2	94,0	94,3	104,0	103,0	95,3	99,0
<b>MO</b>	75,3	81,9	81,6	82,9	73,3	71,4	87,1	88,1	91,1	93,4
<b>σ</b>	8,1	3,2	6,4	3,2	14,1	13,1	12,1	14,3	3,9	3,6

**Πίνακας 10:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

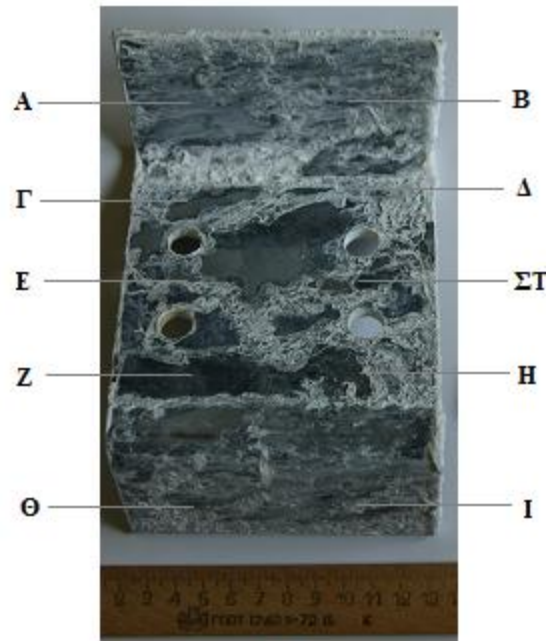
Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 91,2μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 83μm. Βλέπουμε μια, αναμενόμενη, μείωση στο πάχος του γαλβανισμού λόγω της οξειδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

Επιπλέον μπορούμε να παρατηρήσουμε πως κάποια μέρη οξειδώθηκαν παραπάνω, όπως το Α ως το ΣΤ ενώ τα άλλα όχι και τόσο. Αυτό δημιουργήθηκε από την τροπολογία τοποθέτησης τους στο μηχάνημα της αλατονέφωσης.

Σημαντικό σημείο είναι ότι το μέρος που συνδεόταν ο χάλυβας με το αλουμίνιο, ο μέσος όρος του είναι γύρω στα 81 $\mu\text{m}$ . Άρα σε αυτήν την πλευρά έχουμε μια μείωση 10 $\mu\text{m}$  στην επιψευδαργύρωση.



(α)



(β)

**Εικόνα 39:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

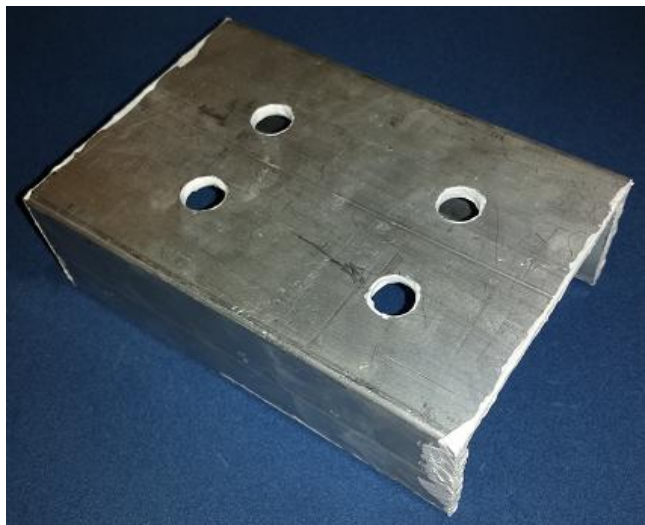
	A( $\mu\text{m}$ )	B( $\mu\text{m}$ )	Γ( $\mu\text{m}$ )	Δ( $\mu\text{m}$ )	E( $\mu\text{m}$ )	ΣΤ( $\mu\text{m}$ )	Z( $\mu\text{m}$ )	H( $\mu\text{m}$ )	Θ( $\mu\text{m}$ )	I( $\mu\text{m}$ )
<b>Low</b>	74,6	61,1	66,8	56,1	80,3	81,5	82,5	90,6	51,6	59,1
<b>High</b>	87,4	84,4	108,0	103,0	98,7	100,0	101,0	98,7	82,3	83,8
<b>MO</b>	82,3	81,8	89,8	83,3	90,9	89,7	89,5	93,4	68,1	66,9
<b><math>\sigma</math></b>	5,4	10,2	15,0	15,1	5,2	5,9	6,6	2,6	13,2	10,3

**Πίνακας 11:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

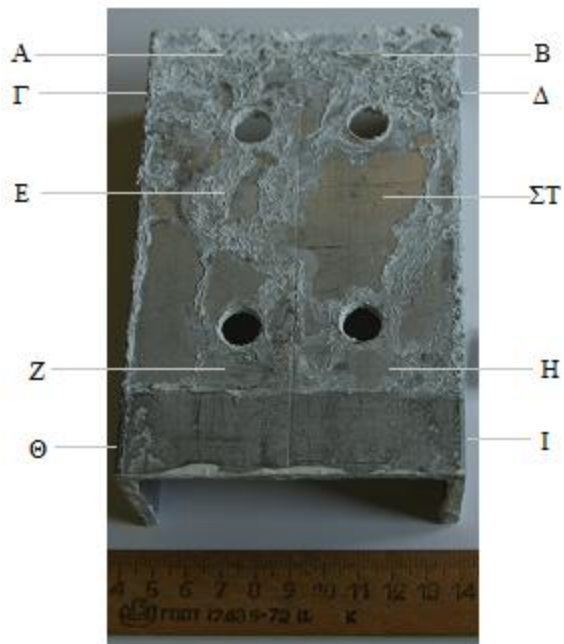
#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 101,0 $\mu\text{m}$  ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 74,6 $\mu\text{m}$ . Παρατηρούμε μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού λόγω της οξειδωσης που υπέστη

το δοκίμιο. Η μείωση σε αυτή την πλευρά είναι μεγαλύτερη από αυτή της πλευράς που συνδεόταν με το αλουμίνιο. Αυτό είναι αναμενόμενο επειδή το αλουμίνιο μπροστά από τον χάλυβα του παρέχει μια κάλυψη από το ψεκάσμο της αλατονέφωσης.



(α)



(β)

**Εικόνα 40:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	6,0	7,0	5,0	4,0	5,0	7,0	6,0	7,0	6,0	6,0
<b>High</b>	9,0	10,0	11,0	11,0	11,0	15,0	14,0	11,0	12,0	11,0
<b>MO</b>	7,0	8,0	8,0	8,0	9,0	10,0	9,0	9,0	8,0	8,0
<b>σ</b>	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0

**Πίνακας 11:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

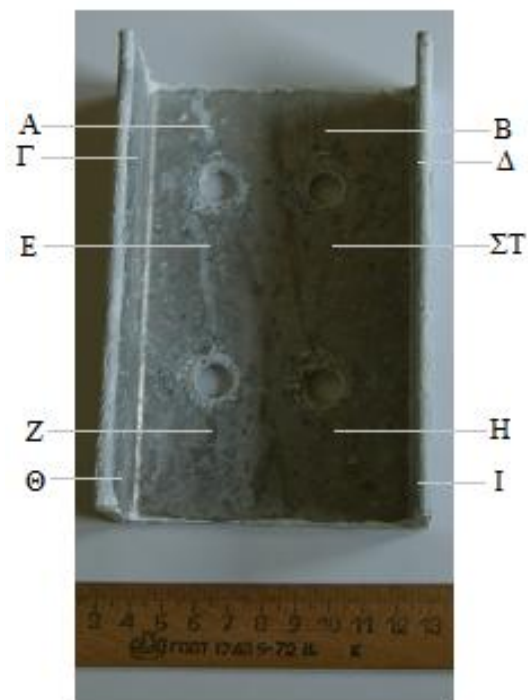
#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 8,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 6μm.



(α)

**Εικόνα 41:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση



(β)

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	6,0	5,0	---	---	6,0	6,0	6,0	5,0	---	---
<b>High</b>	14,0	9,0	---	---	12,0	14,0	14,0	7,0	---	---
<b>MO</b>	9,0	7,0	---	---	10,0	10,0	10,0	6,0	---	---
<b>σ</b>	2,0	1,0	---	---	2,0	3,0	4,0	1,0	---	---

**Πίνακας 12:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 9,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 7μm. Όπου είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από την αύξηση στην πλευρά που συνδεόταν με τον χάλυβα, λόγω επικάλυψης των δυο μετάλλων.

Σε αυτή την πλευρά του δοκιμίου δεν μπορούμε να πάρουμε μετρήσεις στα Γ,Δ, Θ, I επειδή είναι εγχαραγμένα. Αυτό σημαίνει ότι θα παίρναμε μετρήσεις αυξημένες, περί των 45μm.

#### 4.1.2 Δοκίμιο 1β



(α)



(β)



(γ)

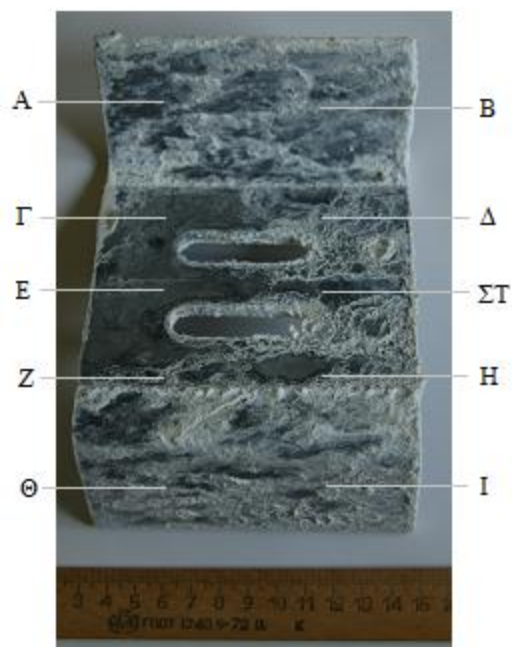


(δ)

*Εικόνα 42: (α) Δοκίμιο 1β πριν την αλατονέφωση  
(β), (γ), (δ) Δοκίμιο 1β μετά την αλατονέφωση*



(α)



(β)

**Εικόνα 43:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδέεται με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

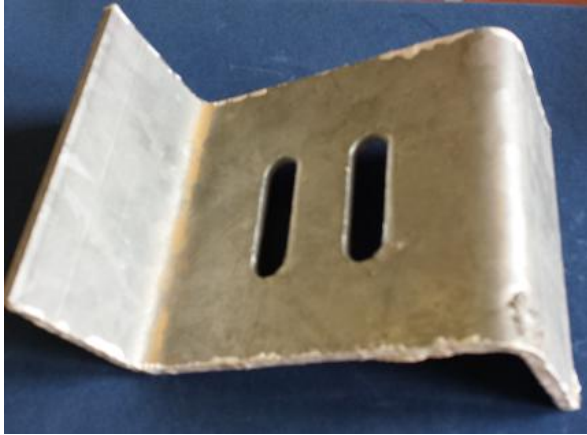
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	53,3	47,5	85,4	77,1	53,2	44,4	76,3	78,8	78,4	65,3
<b>High</b>	89,6	95,1	102,0	93,6	91,2	88,4	96,1	98,5	90,0	82,0
<b>MO</b>	73,4	74,1	89,9	89,1	69,4	60,2	85,9	87,2	84,1	74,6
<b>σ</b>	14,4	12,1	5,2	5,1	12,1	13,3	6,1	6,2	3,8	7,2

**Πίνακας 14:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 85,7μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 78,9μm. Βλέπουμε μια, αναμενόμενη, μείωση στο πάχος του γαλβανισμού λόγω της οξειδωσης που υπέστη το δοκίμιο. Ακόμα μπορούμε να παρατηρήσουμε πως στο κέντρο, όπου το δοκίμιο εκτείθετο λόγω κατασκευαστικών κενών η μείωση είναι μεγαλύτερη.





(α)

**Εικόνα 44:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδέεται με το αλουμίνιο

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση



(β)

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	58,8	67,2	79,9	73,4	65,8	82,5	59,0	81,5	42,8	49,0
<b>High</b>	94,3	91,8	97,7	101,0	94,3	91,9	98,8	96,3	71,5	77,1
<b>MO</b>	79,5	80,9	87,2	91,3	86,3	88,3	83,1	88,4	58,4	57,9
<b>σ</b>	11,7	8,8	5,8	7,1	8,4	3,0	16,1	4,5	8,9	10,4

**Πίνακας 15:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

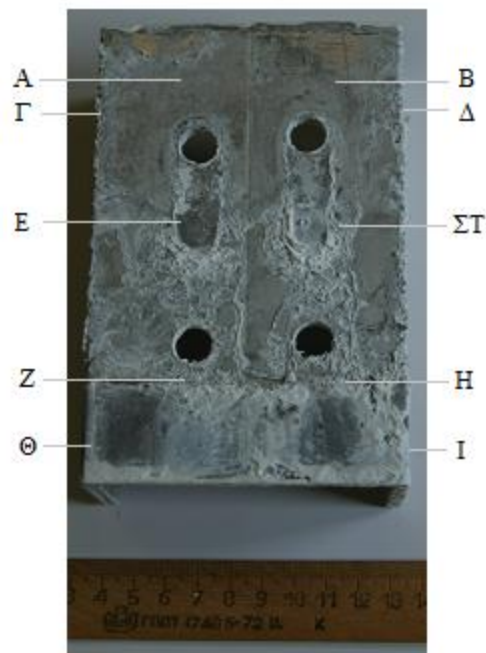
#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 94,3μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 80,1μm. Παρατηρούμε μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού της τάξης των 14 μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

Η μέση απόκλιση, σε κάποια μέρη είναι μεγαλύτερη των 10-12 μm. Τα δοκίμια, όπως προαναφέραμε καθαρίστηκαν με αμμωνία για να αποβληθούν τα επιφανειακά οξειδία που θα μας δίνανε λανθασμένα πάχη. Οι αυξημένες εν μέρει τιμές σε κάποια σημεία είναι λόγω των υπολειμάτων που μπορεί να παρέμειναν στο δοκίμιο μετά την πλύση.



(α)



(β)

**Εικόνα 45:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	8,0	5,0	7,0	6,0	5,0	7,0	5,0	5,0	4,0	6,0
<b>High</b>	13,0	10,0	13,0	13,0	14,0	15,0	11,0	10,0	9,0	9,0
<b>MO</b>	10,0	7,0	9,0	8,0	9,0	10,0	8,0	7,0	7,0	7,0
<b>σ</b>	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	1,0

**Πίνακας 16:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

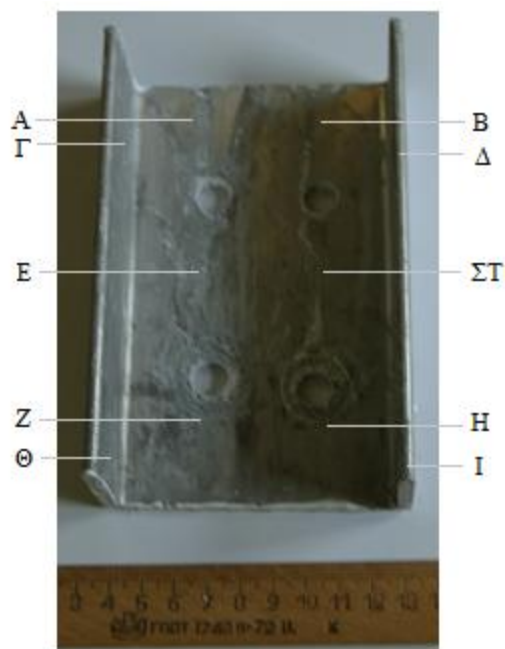
Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 8,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 6μm.

Οι τιμές σε αυτό το δοκίμιο είναι σχεδόν ίσες με τις τιμές του αντιστοίχου 1α.



(α)

**Εικόνα 46:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση



(β)

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	8,0	8,0	---	---	6,0	6,0	6,0	7,0	---	---
<b>High</b>	16,0	20,0	---	---	11,0	13,0	8,0	15,0	---	---
<b>MO</b>	10,0	14,0	---	---	8,0	8,0	7,0	10,0	---	---
<b>σ</b>	3,0	6,0	---	---	2,0	3,0	1,0	3,0	---	---

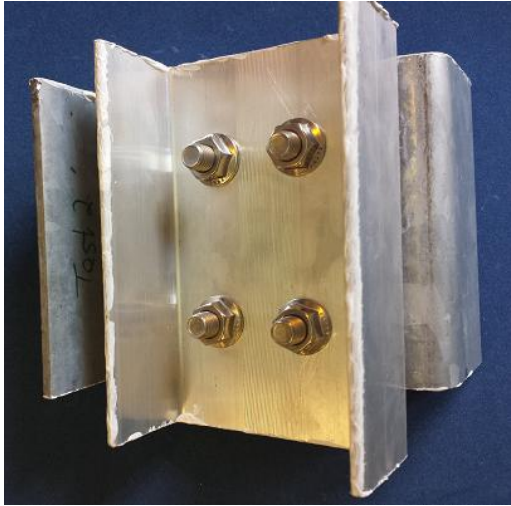
**Πίνακας 17:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

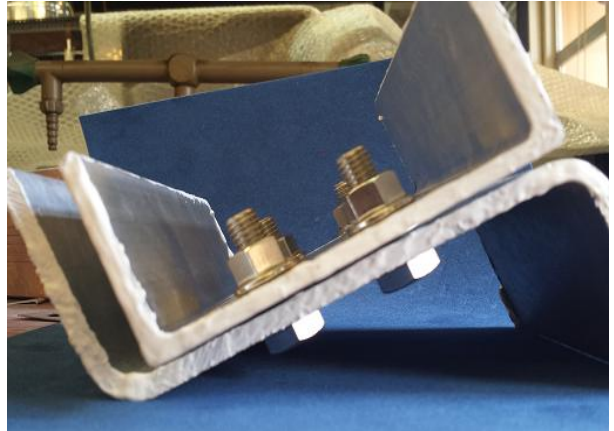
Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 9,0μm, όπως και στο αντίστοιχο του 1α. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 7μm.

Επιπρόσθετα, και εδώ παρατηρούμε ότι κάποιες μετρήσεις ήταν λίγο ανεβασμένες σχετικά με τον μέσο όρο. Αυτό συμβαίνει επειδή, όπως και στον χάλυβα, το δοκίμιο ξεπλύθηκε πριν τις μετρήσεις με θετικό οξύ και σε κάποια μέρη μείνανε υπόλοιπα οξειδίων που αύξησαν το τοπικό πάχος οξείδωσης.

### 4.1.3 Δοκίμιο 2α



(α)



(β)



(γ)



(δ)

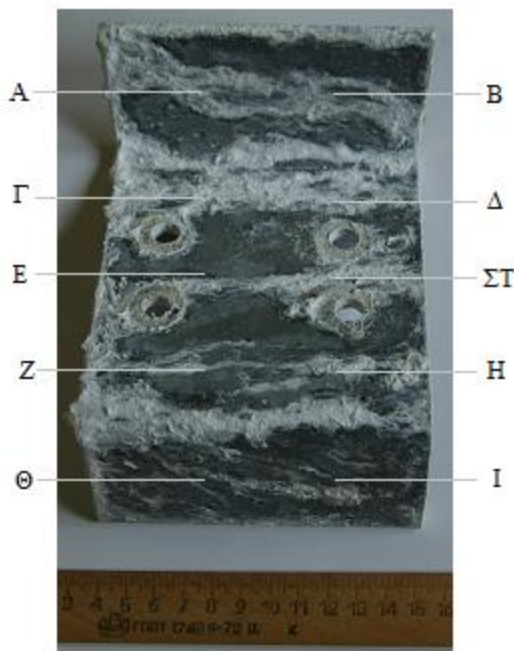
*Εικόνα 47: (α),(β) Δοκίμιο 2α πριν την αλατονέφωση  
(γ),(δ),(ε) Δοκίμιο 2α μετά την αλατονέφωση*



(ε)



(α)



(β)

**Εικόνα 48:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδέεται με το αλουμίνιο

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	38,2	39,0	62,0	54,7	58,2	51,7	52,5	53,9	73,2	86,4
<b>High</b>	57,5	53,3	98,8	104,0	97,3	91,3	109,0	101,0	111,0	111,0
<b>MO</b>	52,8	51,0	81,2	80,7	74,4	67,2	74,4	75,7	94,9	100,0
<b>σ</b>	7,2	6,1	12,4	17,4	17,6	14,0	17,6	17,3	12,6	13,7

**Πίνακας 18:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 84,9μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 75,2μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

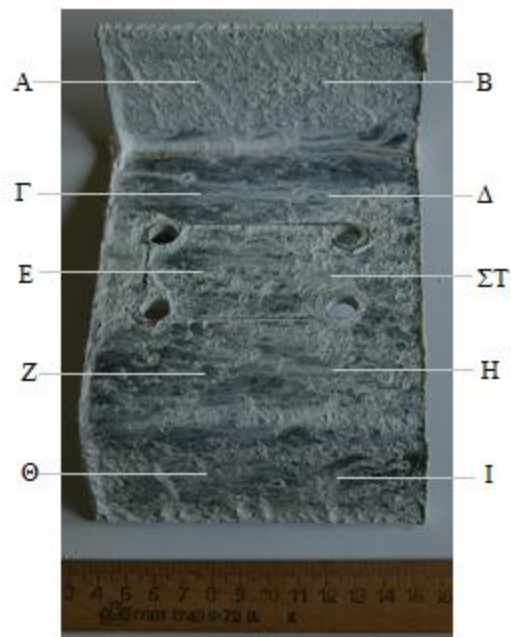
Αν εξαιρέσουμε τα Θ,Ι μέρη που όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως δεν ψεκάζονταν όσο και τα υπόλοιπα, λόγω τοποθέτησης στο μηχάνημα της αλατονέφωσης, παρατηρούμε πως η μείωση είναι ακόμα πιο μεγάλη.

Μέσα από αυτό το δοκίμιο θα μπορούσαμε να οδηγηθούμε σε ένα πρώιμο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερο διάκενο υπάρχει μεταξύ των δύο μετάλλων τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η

οξειδωση που θα υποστούν. Αυτό γίνεται επειδή η υγρασία εισέρχεται και μέσα στο διάκενο τους.



(α)



(β)

**Εικόνα 49:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	59,2	70,1	51,6	51,2	50,8	60,0	61,7	81,8	59,8	63,0
<b>High</b>	89,6	95,3	87,4	89,6	92,4	90,4	88,9	93,3	76,4	79,3
<b>MO</b>	79,5	83,4	74,5	68,8	70,5	80,1	81,2	86,8	60,9	73,6
<b>σ</b>	12,4	11,1	13,7	16,0	17,0	13,6	7,8	3,1	7,1	5,8

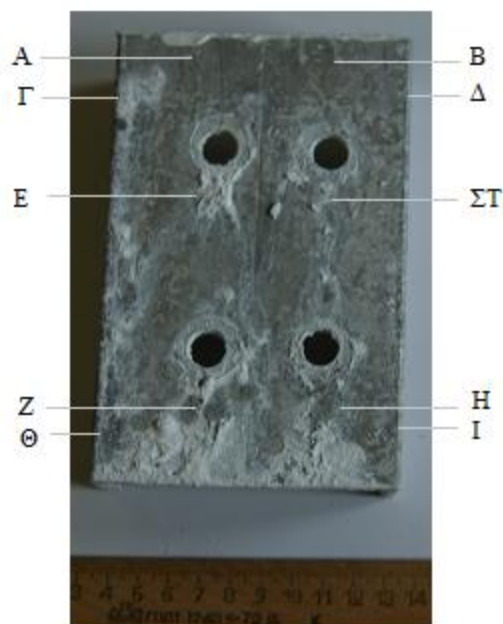
**Πίνακας 19:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 92,3μm ενώ μετά κυμαίνεται γύρω στα 75,9μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού λόγω της οξειδωσης που υπέστη το δοκίμιο της τάξης των 17 μm.



(α)



(β)

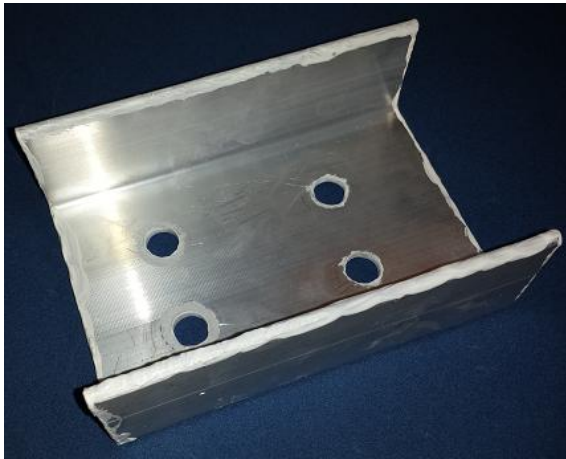
**Εικόνα 50:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	Ι(μm)
<b>Low</b>	7,0	4,0	5,0	5,0	9,0	10,0	6,0	6,0	4,0	4,0
<b>High</b>	17,0	11,0	7,0	10,0	12,0	15,0	11,0	18,0	8,0	10,0
<b>MO</b>	11,0	8,0	6,0	7,0	10,0	12,0	8,0	11,0	6,0	6,0
<b>σ</b>	4,0	3,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	6,0	1,0	2,0

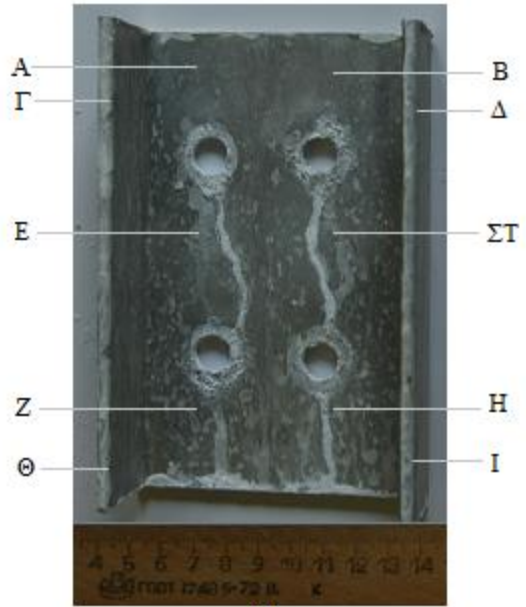
**Πίνακας 20:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 3,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 9,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 6μm.



(α)



(β)

**Εικόνα 51:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	6,0	6,0	---	---	6,0	5,0	6,0	5,0	---	---
<b>High</b>	8,0	10,0	---	---	11,0	10,0	9,0	8,0	---	---
<b>MO</b>	7,0	8,0	---	---	9,0	8,0	7,0	6,0	---	---
<b>σ</b>	1,0	1,0	---	---	2,0	2,0	1,0	1,0	---	---

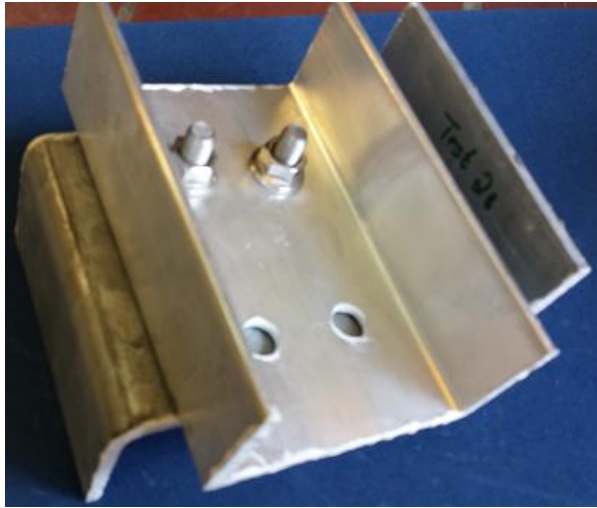
**Πίνακας 21:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 4,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 8,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 4μm.



#### 4.1.4 Δοκίμιο 2β



(α)



(β)



(γ)

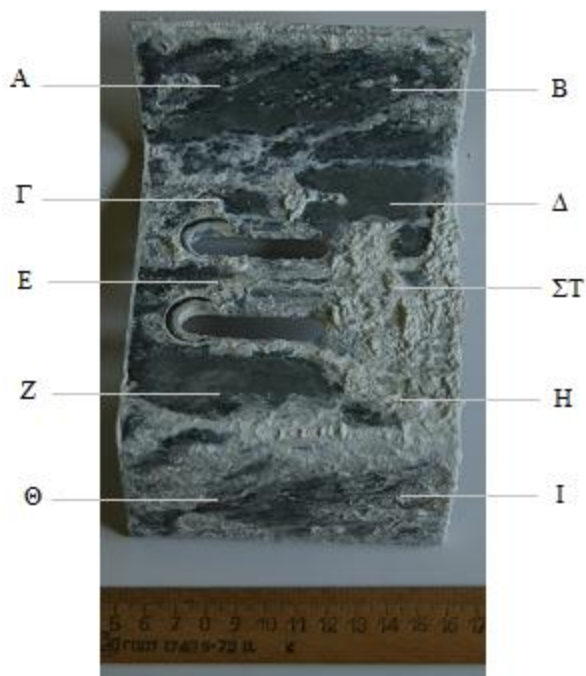


(δ)

*Εικόνα 52: (α) Δοκίμιο 2β πριν την αλατονέφωση  
(β),(γ),(δ) Δοκίμιο 2β μετά την αλατονέφωση*



(α)



(β)

**Εικόνα 53:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	65,8	73,3	81,4	57,5	46,8	58,6	50,1	57,9	53,4	49,3
<b>High</b>	91,6	90,3	99,8	96,5	93,8	87,7	97,8	101,0	82,0	74,0
<b>MO</b>	80,6	82,8	90,0	76,5	60,4	69,0	69,8	82,1	65,6	60,4
<b>σ</b>	10,0	5,9	5,8	14,8	16,5	9,6	17,3	15,1	13,0	8,1

**Πίνακας 22:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

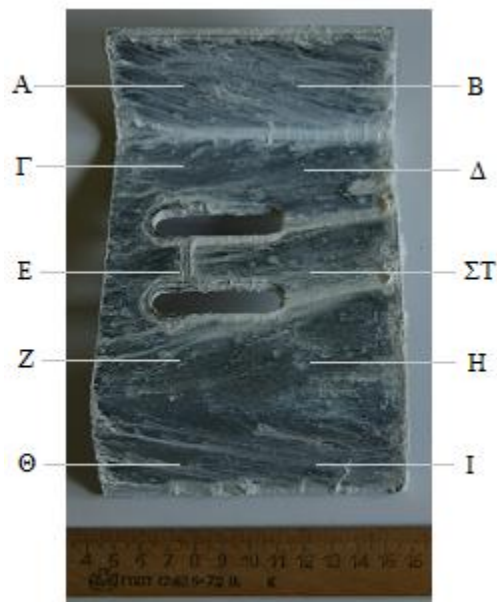
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 92,5μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 73,7μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 19μm λόγω της οξειδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

Η μείωση στο παρόν δοκίμιο ήταν μεγαλύτερη από το αντίστοιχο 2α, αυτό εναπόκειται στο ότι υπήρχαν εκ κατασκευής κενά μέρη, όπως φαίνεται στην εικόνα, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται τα μέρη E,ΣΤ. Αν παραλήψουμε αυτά τα δύο από τον μέσο όρο τότε ο καινούριος μέσος όρος είναι πολύ πιο κοντά σε αυτόν του 2α.



(α)



(β)

**Εικόνα 54:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδέεται με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	64,6	58,2	56,3	79,5	58,4	52,0	72,4	57,3	77,4	86,9
<b>High</b>	79,6	72,8	99,2	101,0	98,0	101,0	100,0	93,5	98,7	98,5
<b>MO</b>	73,7	66,2	84,1	87,7	82,2	74,4	90,8	77,3	88,2	93,3
<b>σ</b>	5,2	5,1	11,6	6,1	11,7	17,2	8,8	12,8	7,4	4,9

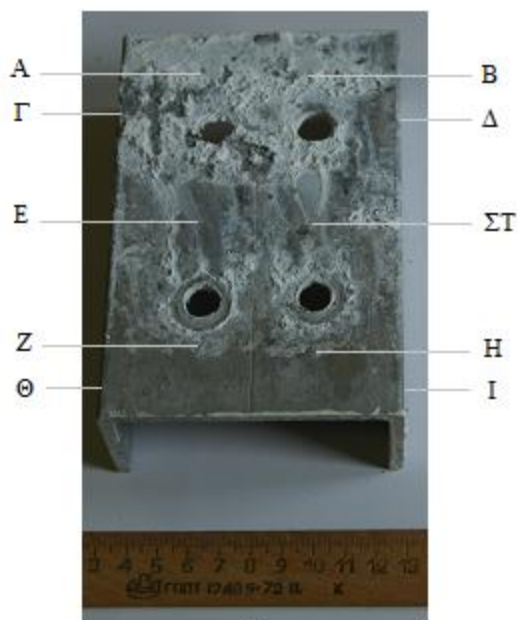
**Πίνακας 23:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 92,3μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 81,8μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 10μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.



(α)



(β)

**Εικόνα 55:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

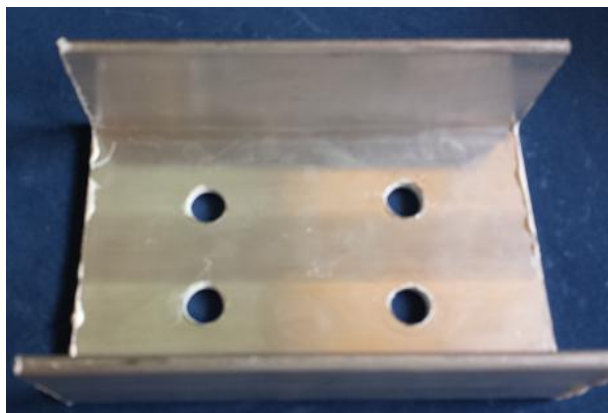
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	Ε(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	Η(μm)	Θ(μm)	Ι(μm)
<b>Low</b>	6,0	5,0	5,0	7,0	6,0	5,0	9,0	6,0	7,0	7,0
<b>High</b>	12,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	16,0	15,0	13,0	9,0
<b>MO</b>	8,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	12,0	11,0	10,0	8,0
<b>σ</b>	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	1,0

**Πίνακας 24:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

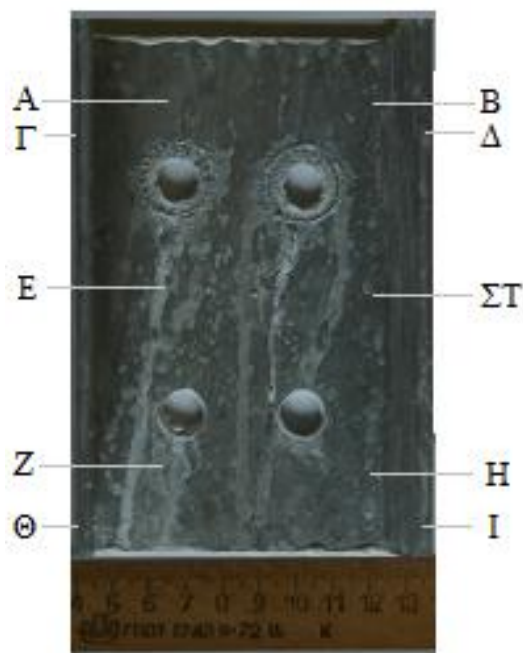
Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 9,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 7μm.

Η αύξηση είναι παρόμοια της αντίστοιχης πλευράς του 2α.



(α)



(β)

**Εικόνα 56:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

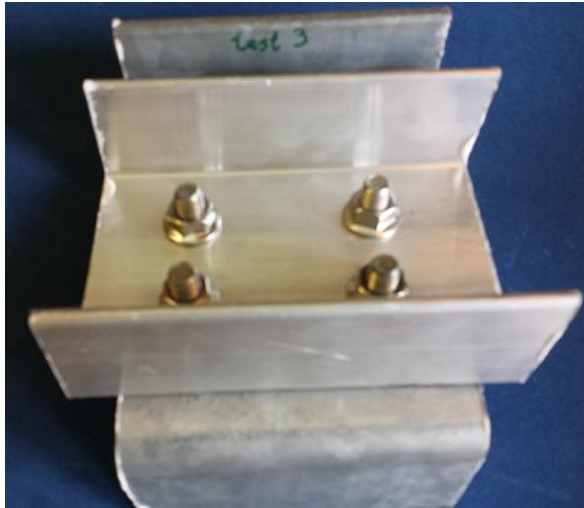
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	10,0	4,0	---	---	5,0	6,0	7,0	6,0	---	---
<b>High</b>	14,0	11,0	---	---	12,0	11,0	10,0	8,0	---	---
<b>MO</b>	11,0	8,0	---	---	7,0	8,0	9,0	7,0	---	---
<b>σ</b>	2,0	2,0	---	---	3,0	2,0	1,0	1,0	---	---

**Πίνακας 25:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 8,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 6μm.

#### 4.1.5 Δοκίμιο 3α



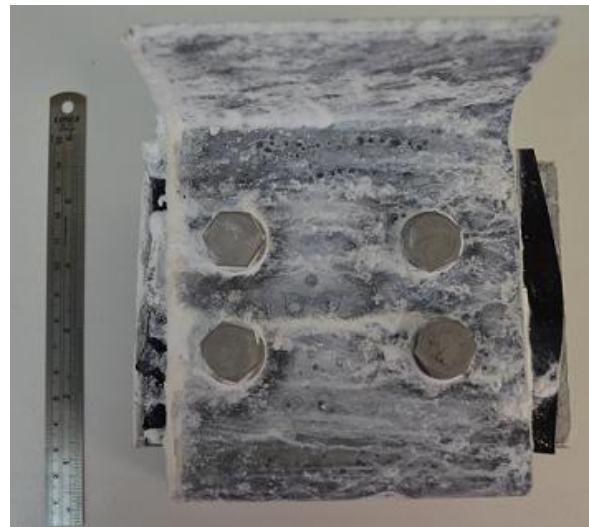
(α)



(β)



(γ)

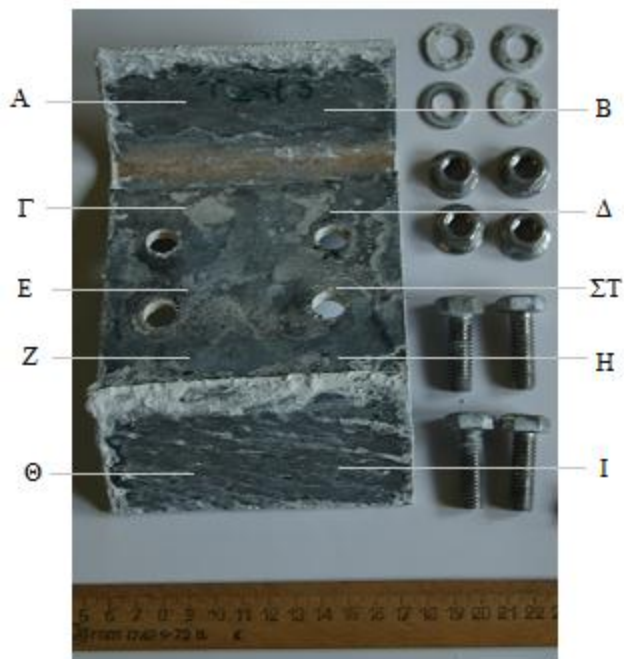


(δ)

*Εικόνα 57: (α) Δοκίμιο 3α πριν την αλατονέφωση  
(β), (γ), (δ) Δοκίμιο 3α μετά την αλατονέφωση*



(α)



(β)

**Εικόνα 58:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	Ε(μm)	ΣΤ(μm)	Ζ(μm)	Η(μm)	Θ(μm)	Ι(μm)
<b>Low</b>	74,0	74,6	84,5	83,1	87,4	93,6	91,0	94,1	96,2	100,0
<b>High</b>	84,4	84,8	101,0	96,8	110,0	106,0	108,0	104,0	108,0	109,0
<b>MO</b>	79,2	80,3	94,2	88,9	99,1	99,6	99,1	98,3	103,0	105,0
<b>σ</b>	4,2	4,1	4,6	5,1	7,0	3,9	6,4	3,5	4,1	3,3

**Πίνακας 26:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

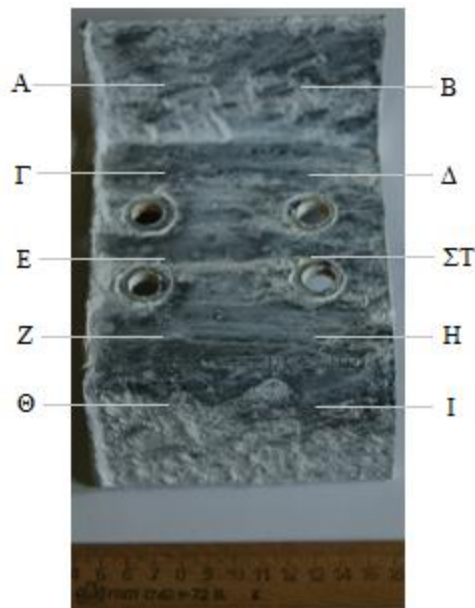
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 101,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 94,7μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 7μm λόγω της οξειδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

Μέσα από απλή παρατήρηση στον χάλυβα, μετά την αλατονέφωση, μπορούμε να αποφανθούμε πως η λαστιχοταινία, στο μέρος που συνδέονταν, προστάτευσε επαρκώς το μέταλλο. Αυτό μπορεί να φανεί ακόμα και με γυμνό μάτι αφού πάνω στο χάλυβα, από το Γ μέρος ως το Η, η οξειδωση ήταν μειωμένη από άλλα δοκίμια.



(α)



(β)

**Εικόνα 59:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδέεται με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	69,6	79,9	57,9	56,8	50,1	53,5	71,9	56,3	50,5	53,5
<b>High</b>	92,1	89,1	97,7	90,4	96,0	94,6	94,6	87,7	93,0	78,3
<b>MO</b>	85,5	83,5	82,3	79,7	71,6	76,8	83,7	81,8	76,3	61,9
<b>σ</b>	8,2	3,4	13,1	11,1	17,1	15,7	7,0	9,5	14,1	8,5

**Πίνακας 27:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

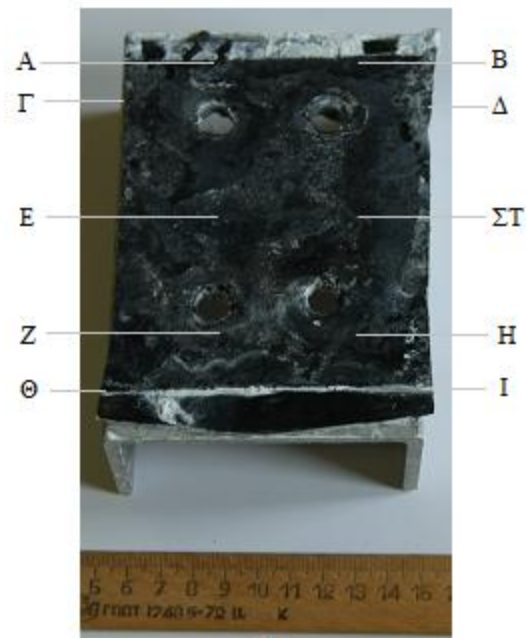
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 90,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 78,3μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 12μm λόγω της οξειδωσης που υπέστη το δοκίμιο.





(α)



(β)

**Εικόνα 60:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
Low	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
High	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
MO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
σ	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

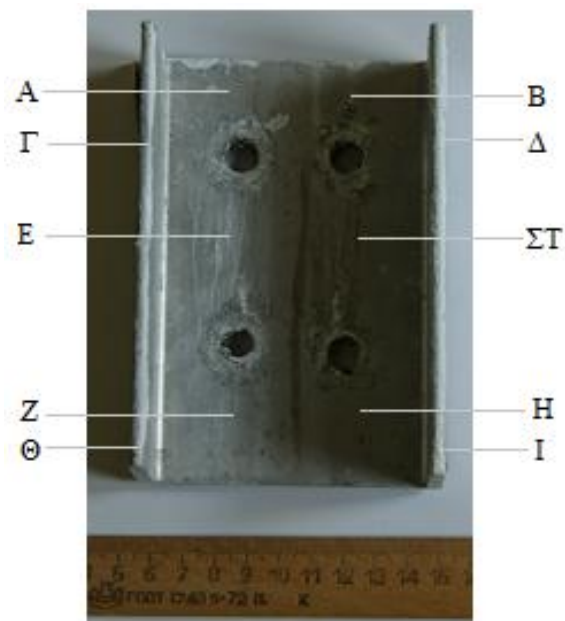
**Πίνακας 28:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Σε αυτήν την πλευρά του αλουμινίου δεν μπορούσαμε να πάρουμε μετρήσεις επειδή η λαστιχοταινία είναι κολλημένη πάνω στο αλουμίνιο.



(α)



(β)

**Εικόνα 61:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

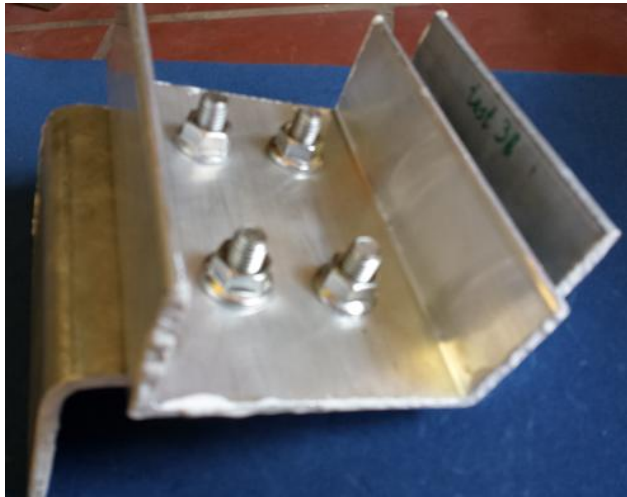
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	6,0	6,0	---	---	7,0	5,0	6,0	5,0	---	---
<b>High</b>	13,0	14,0	---	---	15,0	9,0	15,0	7,0	---	---
<b>MO</b>	8,0	9,0	---	---	11,0	7,0	9,0	6,0	---	---
<b>σ</b>	2,0	3,0	---	---	3,0	1,0	3,0	1,0	---	---

**Πίνακας 29:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 8,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξειδωση του μετάλλου κατά τα 6μm.

#### 4.1.6 Δοκίμιο 3β



(α)



(β)



(γ)

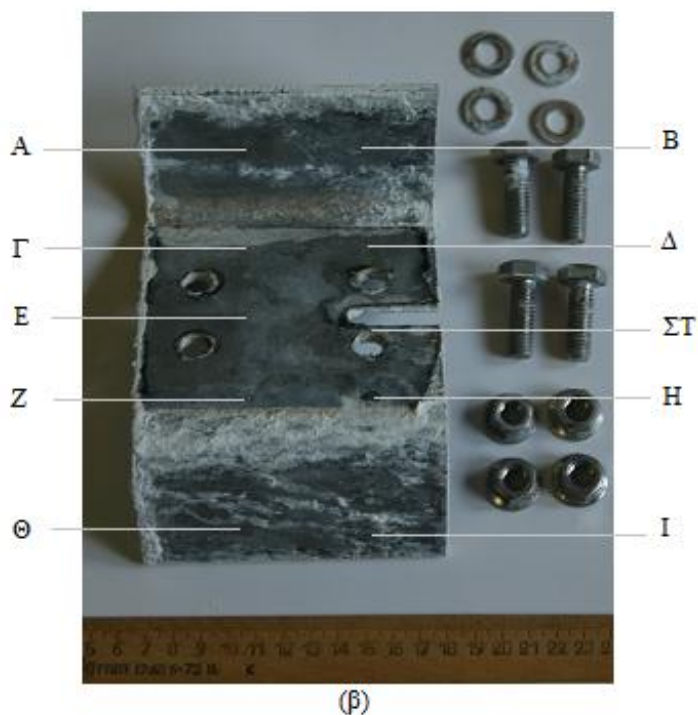


(δ)

**Εικόνα 62:** (α) Δοκίμιο 3β πριν την αλατονέφωση  
(β), (γ), (δ) Δοκίμιο 3β μετά την αλατονέφωση



(α)



(β)

**Εικόνα 63:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

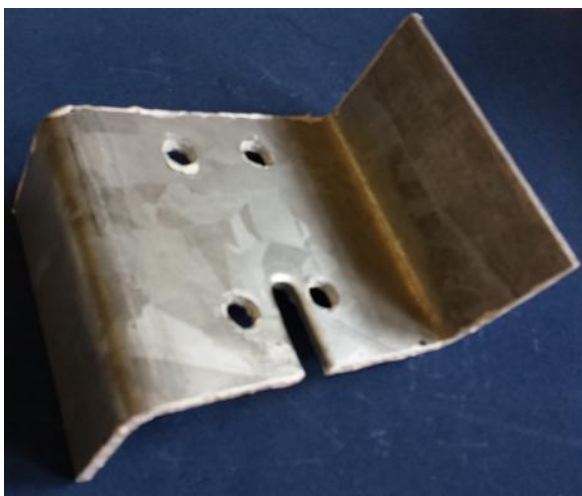
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	Ε(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	Ι(μm)
<b>Low</b>	76,8	73,6	90,6	91,4	86,2	89,9	78,9	92,6	84,8	89,2
<b>High</b>	105,0	86,0	111,0	113,0	108,0	102,0	103,0	106,0	102,0	111,0
<b>MO</b>	87,5	79,8	97,7	98,1	92,7	96,5	90,6	101,0	92,1	103,0
<b>σ</b>	9,3	4,5	6,0	6,5	7,9	4,0	7,4	4,1	6,0	7,3

**Πίνακας 30:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

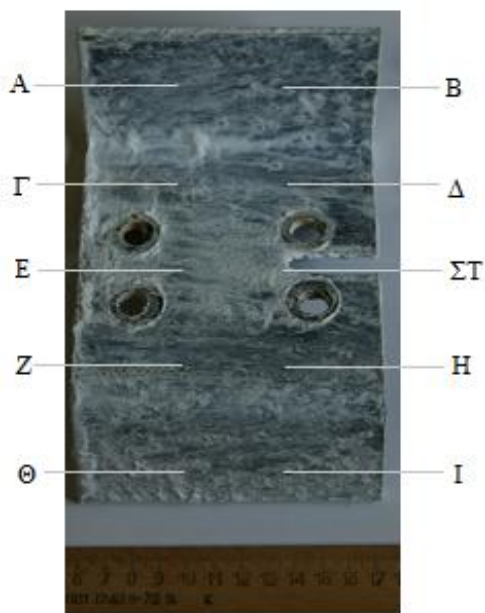
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 97,8μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 93,9μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 4μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

Παρατηρούμε ότι και στο 2<sup>ο</sup> δοκίμιο με την λαστιχοταινία, η μείωση του στρώματος του ψευδαργύρου είναι μικρή.



(α)



(β)

**Εικόνα 64:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδέεται με το αλουμίνιο

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	Ε(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	Η(μm)	Θ(μm)	Ι(μm)
<b>Low</b>	71,3	79,3	59,1	57,4	57,9	54,4	48,5	54,4	57,7	55,1
<b>High</b>	87,9	89,1	91,8	90,0	98,2	104,0	86,5	98,8	98,0	75,1
<b>MO</b>	80,2	83,0	80,9	72,6	79,1	77,9	77,6	73,9	76,3	67,7
<b>σ</b>	6,4	4,1	10,7	12,5	14,9	17,1	14,7	15,9	16,1	8,3

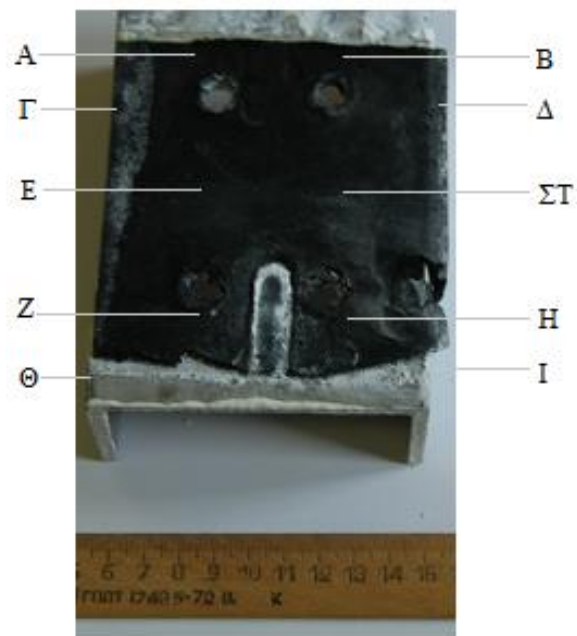
**Πίνακας 31:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 89,3μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 76,9μm. Παρατηρούμε μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού της τάξης των 12 μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.



(α)



(β)

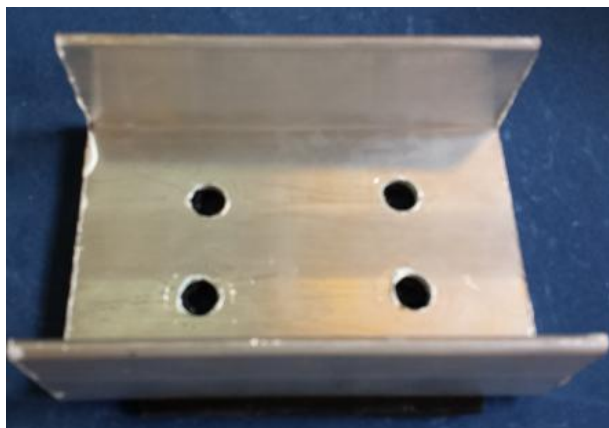
**Εικόνα 65:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>High</b>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>MO</b>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>σ</b>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

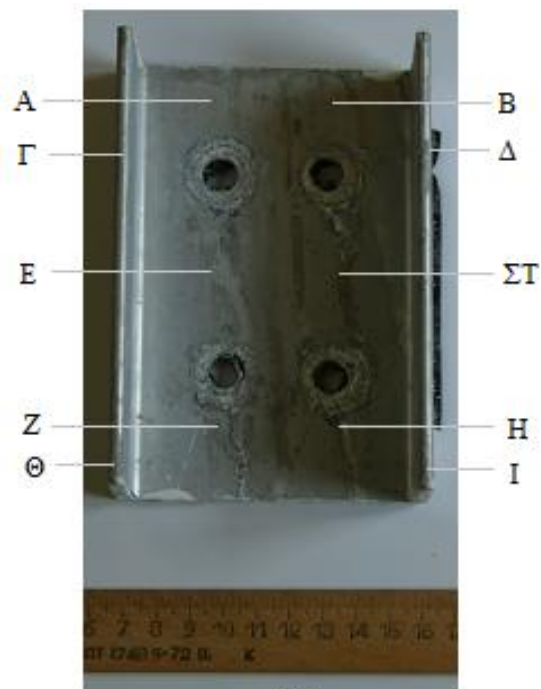
**Πίνακας 32:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Σε αυτή την πλευρά του αλουμινίου, όπως και στο αντίστοιχο 3α δοκίμιο, δεν μπορέσαμε να πάρουμε μετρήσεις επειδή η λαστιχοταινία είναι κολλημένη πάνω στο αλουμίνιο.



(α)



(β)

**Εικόνα 66:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

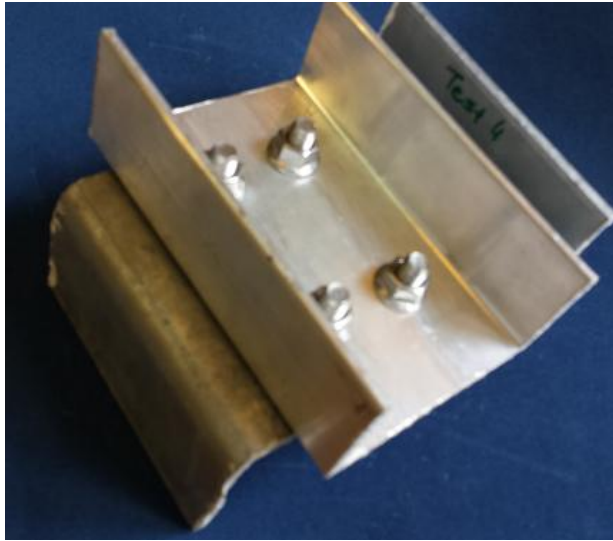
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	6,0	8,0	---	---	7,0	7,0	9,0	6,0	---	---
<b>High</b>	10,0	12,0	---	---	13,0	11,0	11,0	16,0	---	---
<b>MO</b>	8,0	11,0	---	---	10,0	9,0	10,0	10,0	---	---
<b>σ</b>	1,0	2,0	---	---	2,0	1,0	1,0	3,0	---	---

**Πίνακας 33:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 10,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξειδωση του μετάλλου κατά τα 8μm. Αυτή η αύξηση είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του δοκιμίου 3α.

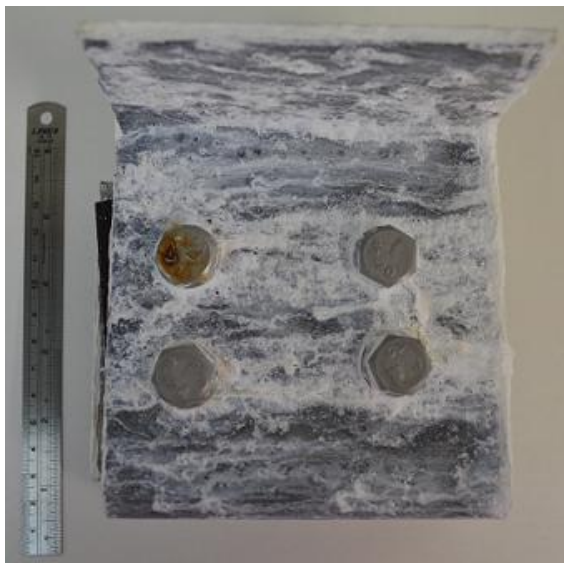
#### 4.1.7 Δοκίμιο 4α



(α)



(β)



(γ)



(δ)

*Εικόνα 67: (α) Δοκίμιο 4α πριν την αλατονέφωση  
(β),(γ),(δ) Δοκίμιο 4α μετά την αλατονέφωση*





(α)



(β)

**Εικόνα 68:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	70,7	57,1	61,4	87,9	79,1	75,8	97,3	69,9	84,8	88,6
<b>High</b>	99,4	99,7	103,0	99,0	104,0	98,5	106,0	98,1	102,0	104,0
<b>MO</b>	86,4	67,0	84,2	93,6	91,7	86,7	97,2	79,4	91,3	93,7
<b>σ</b>	12,3	16,1	17,0	4,0	9,3	8,0	8,0	7,1	7,1	5,8

**Πίνακας 34:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

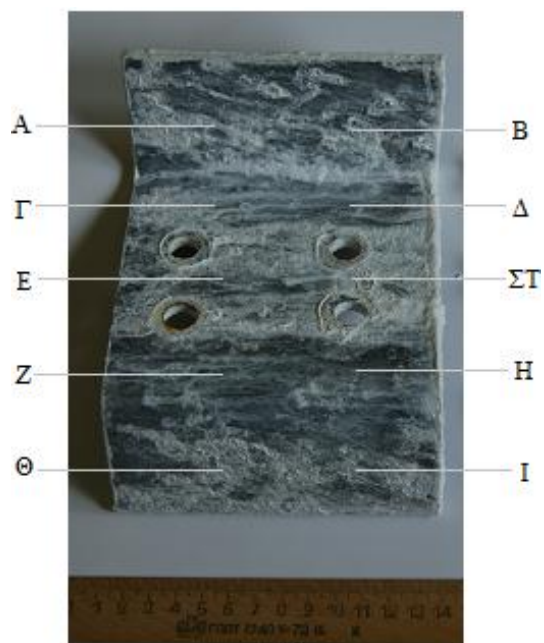
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 95,1μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 87,1μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 8μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

Αν και το δοκίμιο προστατευόταν με παρόμοιο υλικό με το 3, τα αποτελέσματα δεν ήταν παρόμοια. Εδώ η μείωση του πάχους ήταν μεγαλύτερη από αυτή της λαστιχοταινίας γιατί η λαστιχοταινία ήταν προσκολλημένη πάνω στο μεταλλικό δοκίμιο.



(α)



(β)

**Εικόνα 69:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδέεται με το αλουμίνιο

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	76,4	77,8	72,4	59,1	52,1	55,3	50,5	64,5	56,9	53,4
<b>High</b>	91,4	93,5	109,0	104,0	103,0	92,3	93,6	87,9	79,1	78,9
<b>MO</b>	83,8	84,1	83,5	86,8	71,9	71,9	70,5	76,3	68,2	63,3
<b>σ</b>	6,0	6,4	14,0	13,4	18,1	15,2	16,7	11,4	8,2	10,0

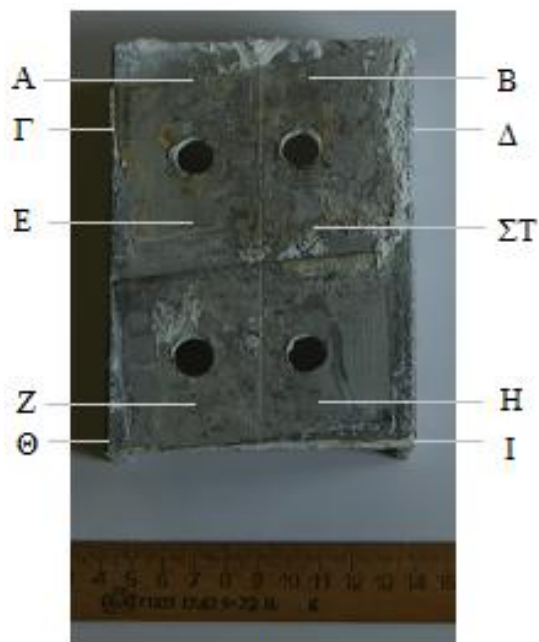
**Πίνακας 35:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 91,4μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 76,0μm. Παρατηρούμε μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού της τάξης των 15 μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.



(α)



(β)

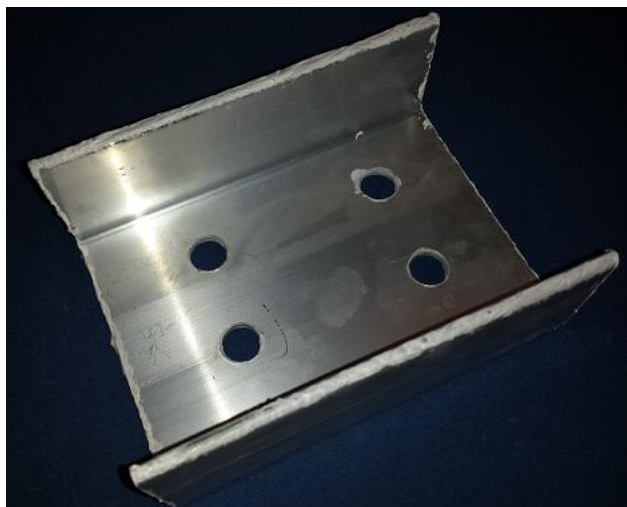
**Εικόνα 70:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	4,0	5,0	6,0	6,0	3,0	4,0	4,0	5,0	8,0	2,0
<b>High</b>	12,0	11,0	13,0	14,0	14,0	11,0	13,0	10,0	12,0	11,0
<b>MO</b>	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	6,0	9,0	6,0	10,0	7,0
<b>σ</b>	3,0	2,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,0	3,0

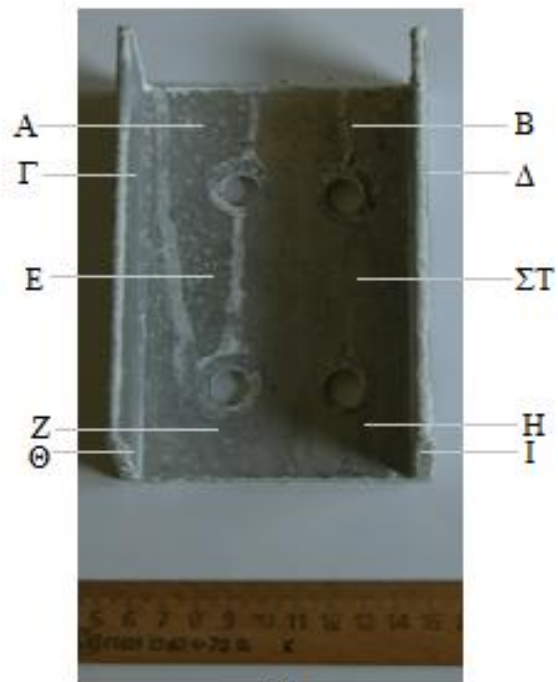
**Πίνακας 36:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 4,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 8,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 4μm.



(α)



(β)

**Εικόνα 71:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	7,0	6,0	---	---	6,0	6,0	7,0	4,0	---	---
<b>High</b>	12,0	9,0	---	---	12,0	13,0	12,0	11,0	---	---
<b>MO</b>	9,0	8,0	---	---	9,0	10,0	9,0	7,0	---	---
<b>σ</b>	2,0	1,0	---	---	2,0	3,0	2,0	3,0	---	---

**Πίνακας 37:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 3,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 9,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 6μm.

#### 4.1.8 Δοκίμιο 4β



(α)



(β)



(γ)

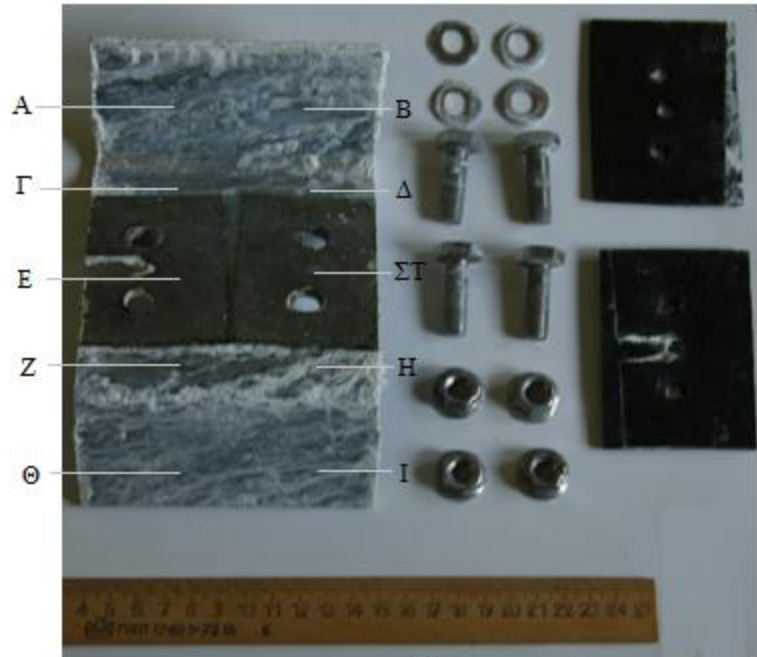


(δ)

**Εικόνα 72:** (α) Δοκίμιο 4β πριν την αλατονέφωση  
(β), (γ), (δ) Δοκίμιο 4β μετά την αλατονέφωση



(α)



(β)

**Εικόνα 73:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

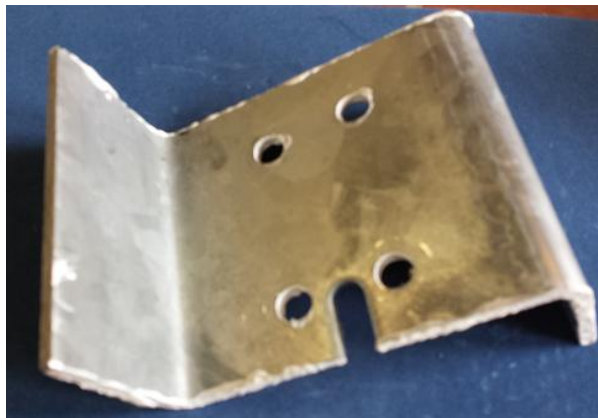
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	Ε(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	72,4	71,3	87,7	91,6	95,1	94,6	94,8	90,8	102,0	98,7
<b>High</b>	93,5	94,3	100,0	106,0	112,0	110,0	116,0	117,0	116,0	123,0
<b>MO</b>	81,0	81,7	95,4	99,0	105,0	100,0	104,0	104,0	108,0	109,0
<b>σ</b>	8,0	8,0	4,7	5,4	7,5	6,0	7,6	8,0	5,5	10,9

**Πίνακας 38:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

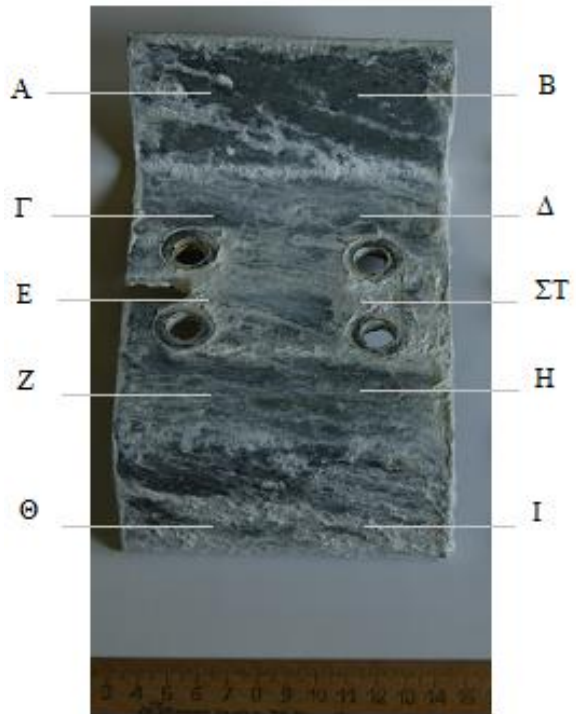
#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 105,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 98,7μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 6μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο. Η μείωση αυτή είναι παρόμοια με τις αντίστοιχες πλευράς 4α.

Γενικά είναι εμφανές, και με γυμνό μάτι αλλά και από τις παρθέστες μετρήσεις, ότι στα μέρη που βρίσκονταν τα ενδιάμεσα πλαστικά η οξείδωση ήταν μειωμένη.



(α)



(β)

**Εικόνα 74:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	Ε(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	Η(μm)	Θ(μm)	Ι(μm)
<b>Low</b>	82,7	82,5	52,5	49,3	54,7	77,8	53,3	54,0	52,9	54,1
<b>High</b>	90,8	87,9	92,4	104,0	96,7	99,9	88,2	96,8	77,1	89,6
<b>MO</b>	87,3	85,4	77,1	81,6	75,4	85,5	71,6	81,9	64,0	71,6
<b>σ</b>	3,4	1,8	17,0	17,6	14,0	7,4	14,9	15,9	9,7	14,0

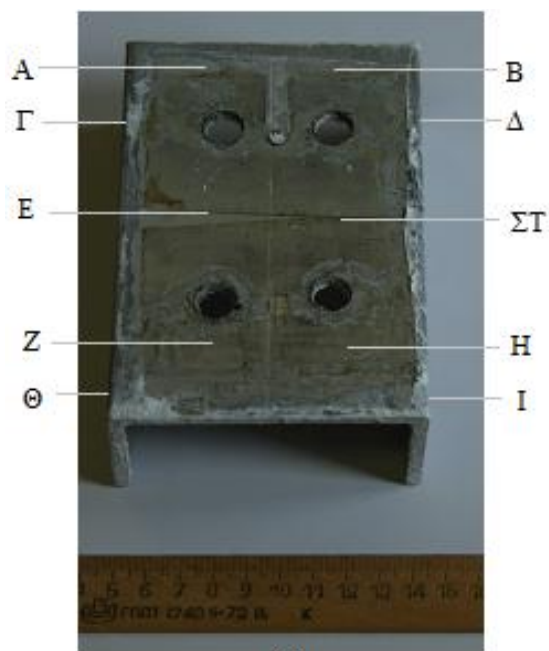
**Πίνακας 39:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 86,8μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 78,1μm. Παρατηρούμε μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού της τάξης των 8 μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο. Τιμή που αποκλίνει σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή της πλευράς του 4α.



(α)



(β)

**Εικόνα 75:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	5,0	6,0	6,0	8,0	7,0	6,0	5,0	8,0	6,0	6,0
<b>High</b>	9,0	15,0	16,0	18,0	14,0	9,0	15,0	15,0	10,0	12,0
<b>MO</b>	7,0	9,0	9,0	13,0	12,0	8,0	10,0	11,0	7,0	9,0
<b>σ</b>	1,0	4,0	4,0	4,0	3,0	1,0	4,0	3,0	2,0	2,0

**Πίνακας 40:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

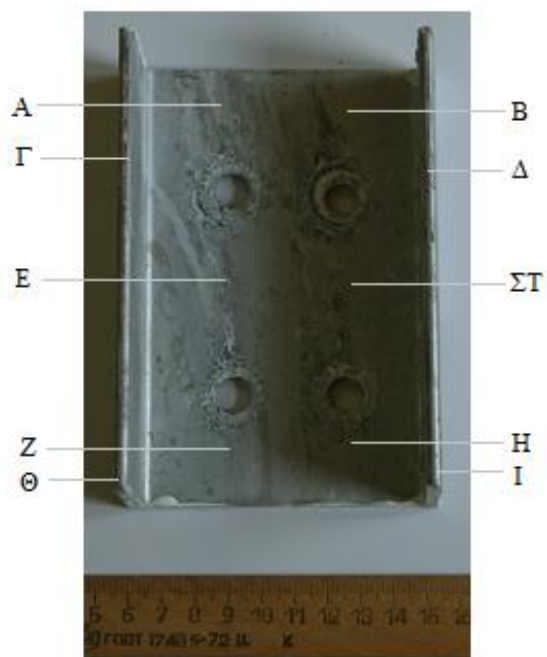
Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 10,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 8μm.





(α)



(β)

**Εικόνα 76:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	4,0	5,0	---	---	7,0	6,0	6,0	6,0	---	---
<b>High</b>	9,0	18,0	---	---	16,0	12,0	10,0	14,0	---	---
<b>MO</b>	7,0	11,0	---	---	10,0	8,0	6,0	9,0	---	---
<b>σ</b>	2,0	6,0	---	---	3,0	2,0	1,0	3,0	---	---

**Πίνακας 41:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 3,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 9,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 6μm. Εδώ παρατηρούμε όμοιες τιμές στην οξείδωση των αντίστοιχων πλευρών 4α και 4β.

#### 4.1.9 Δοκίμιο 5α



(α)



(β)



(γ)

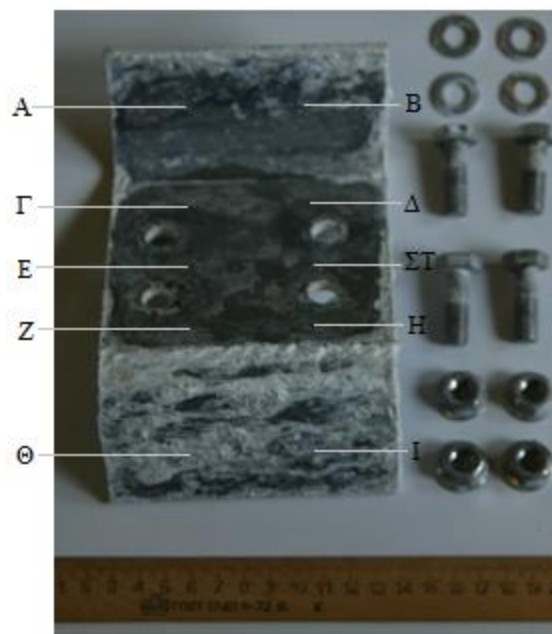


(δ)

*Εικόνα 77: (α) Δοκίμιο 5α πριν την αλατονέφωση  
(β), (γ), (δ) Δοκίμιο 5α μετά την αλατονέφωση*



(α)



(β)

**Εικόνα 78:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	76,1	74,9	782	967	555	754	498	520	71,8	68,6
<b>High</b>	87,4	85,0	1017	1097	803	895	598	636	108	110
<b>MO</b>	81,6	80,4	925	946	665	723	529	592	93,1	95,7
<b>σ</b>	4,9	3,9	82,0	53,2	92,3	64,4	35,8	42,1	14,7	15,8

**Πίνακας 42:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

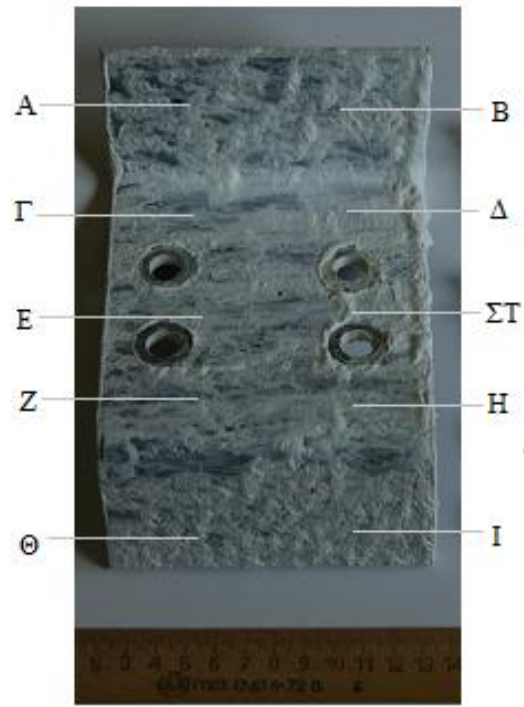
Σε αυτό το δοκίμιο πήραμε τον μέσο όρο μόνο από τα 6 μέρη που τοποθετήθηκε εποξειδική ρητίνη, δηλαδή το Γ,Δ,Ε,ΣΤ,Ζ και Η. Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 735,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 730,0μm.

Κατά την εναπόθεση της ρητίνης, το μέρος που εργαστήκαμε, δεν ήταν σε πλήρη ευθεία με την γη, για αυτό και υπάρχει διαφοροποίηση στο πάχος της μεταξύ των ζευγαριών Γ,Δ και Ε,ΣΤ και Ζ,Η.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε πως, η εποξειδική ρητίνη σε αυτό το δοκίμιο προστάτευσε πλήρως την πλευρά του χάλυβα που επικάθητεω.



(α)



(β)

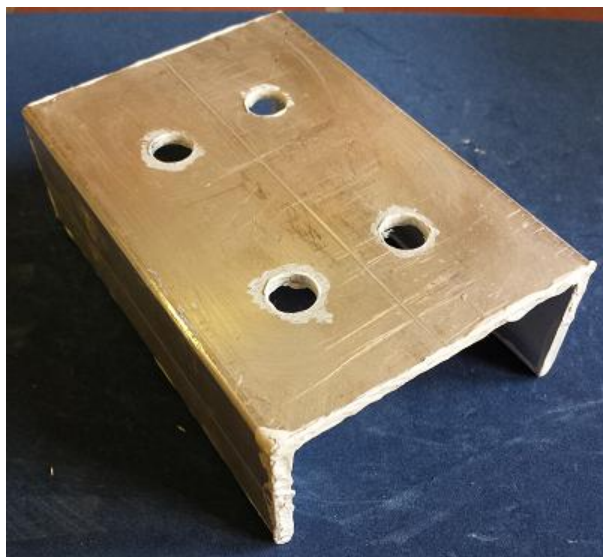
**Εικόνα 79:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδέεται με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	65,1	70,3	83,6	74,9	65,4	71,6	53,3	78,5	64,8	62,0
<b>High</b>	83,7	81,8	90,1	96,8	91,8	108,0	102,0	92,4	104,0	109,0
<b>MO</b>	78,1	76,5	89,5	83,9	79,4	89,1	76,1	85,3	78,4	79,1
<b>σ</b>	4,9	3,6	7,1	5,4	11,6	16,4	17,5	4,9	11,6	17,7

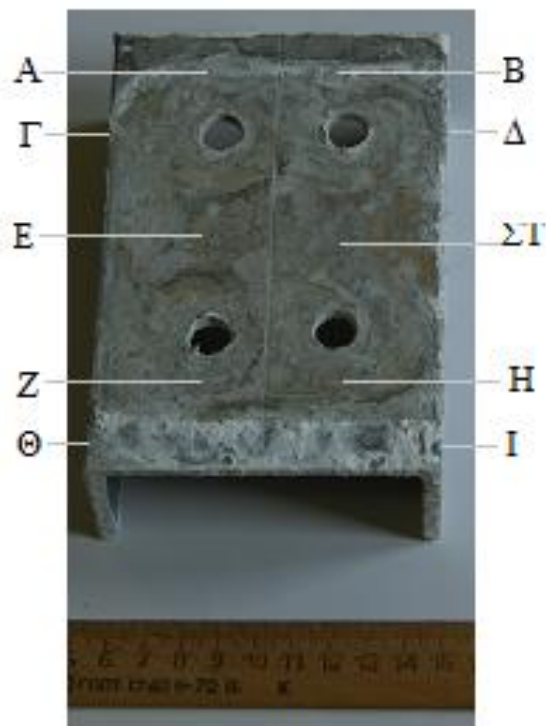
**Πίνακας 43:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 89,2μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 81,5μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 8μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.



(α)



(β)

**Εικόνα 80:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0	3,0	7,0
<b>High</b>	9,0	15,0	14,0	7,0	11,0	15,0	14,0	13,0	6,0	9,0
<b>MO</b>	6,0	9,0	7,0	5,0	7,0	9,0	8,0	9,0	4,0	8,0
<b>σ</b>	2,0	4,0	4,0	1,0	3,0	4,0	3,0	3,0	1,0	1,0

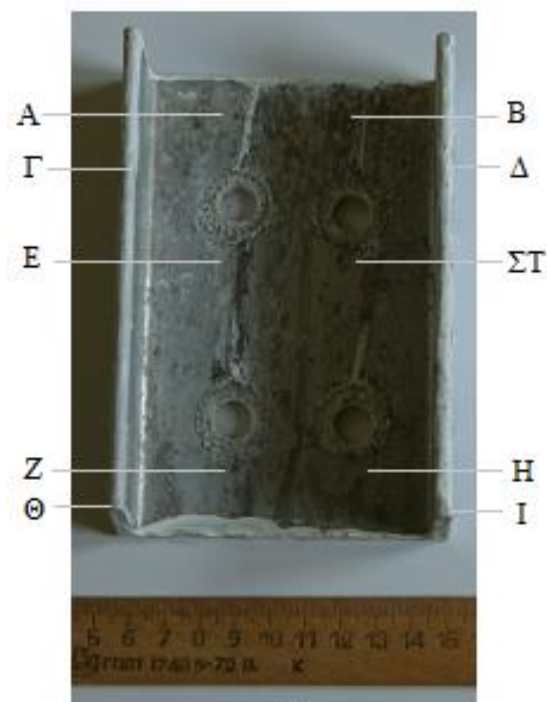
**Πίνακας 44:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 7,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 5μm.



(α)



(β)

**Εικόνα 81:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

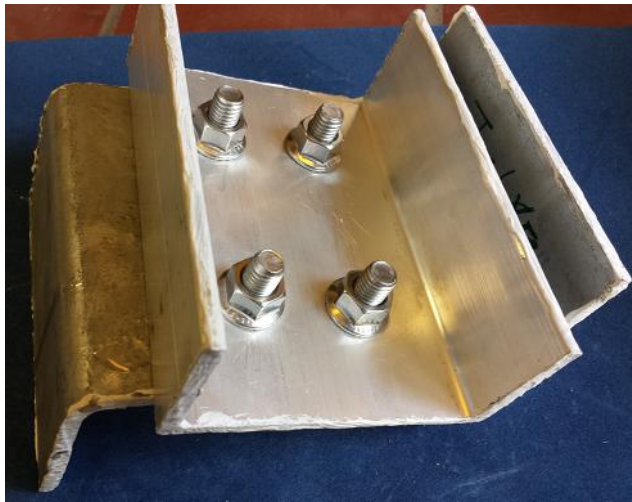
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	4,0	6,0	---	---	5,0	8,0	7,0	3,0	---	---
<b>High</b>	13,0	18,0	---	---	11,0	14,0	11,0	19,0	---	---
<b>MO</b>	8,0	12,0	---	---	8,0	11,0	9,0	8,0	---	---
<b>σ</b>	4,0	4,0	---	---	2,0	2,0	2,0	6,0	---	---

**Πίνακας 45:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 9,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 7μm.

#### 4.1.10 Δοκίμιο 5β



(α)



(β)



(γ)

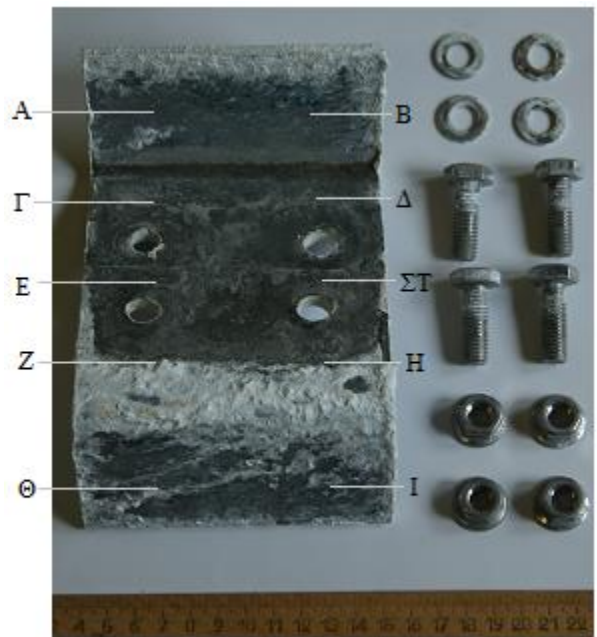


(δ)

*Εικόνα 82: (α) Δοκίμιο 5β πριν την αλατονέφωση  
(β), (γ), (δ) Δοκίμιο 5β μετά την αλατονέφωση*



(α)



(β)

**Εικόνα 83:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	73,9	63,5	1080	1062	602	732	396	461	91,3	103,0
<b>High</b>	86,7	109,0	1208	1210	872	992	507	585	118,0	112,0
<b>MO</b>	80,6	82,9	1161	1130	834	849	453	517	108,0	109,0
<b>σ</b>	4,3	11,9	49,8	65,6	85,1	86,8	39,9	51,4	10,9	3,3

**Πίνακας 46:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

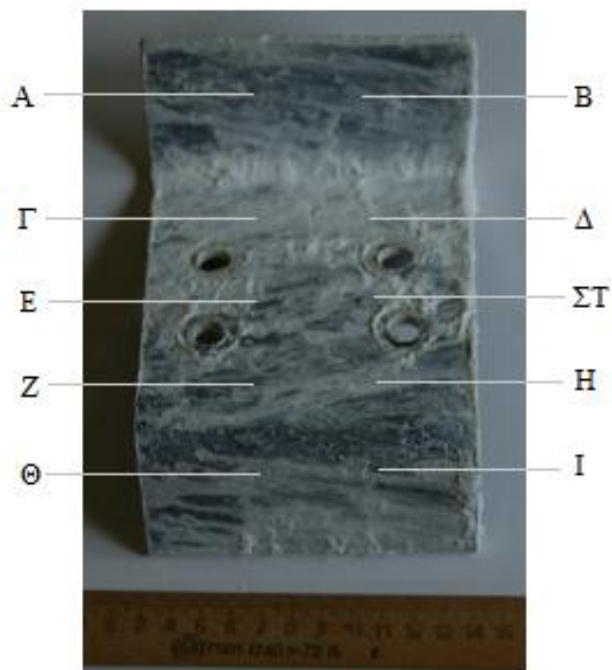
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 829,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 824,0μm. Η μέτρηση του μέσου όρου έγινε λαμβάνοντας πάλι μόνο τα κεντρικά μέρη όπως και με το 5α. Και σε αυτό το δοκίμιο βλέπουμε η εποξειδική ρητίνη το προστατεύσει από την αλατονέφωση.





(α)



(β)

**Εικόνα 84:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	65,1	70,3	83,6	74,9	65,4	71,6	53,3	78,5	64,8	62,0
<b>High</b>	83,7	81,8	90,1	96,8	91,8	108,0	102,0	92,4	104,0	109,0
<b>MO</b>	78,1	76,5	89,5	83,9	79,4	89,1	76,1	85,3	78,4	79,1
<b>σ</b>	4,9	3,6	7,1	5,4	11,6	16,4	17,5	4,9	11,6	17,7

**Πίνακας 47:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

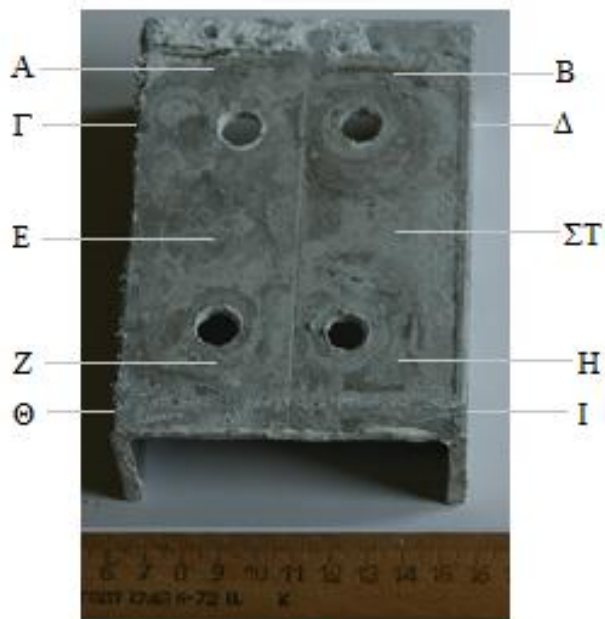
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 89,1μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 70,0μm. Η διαφορά είναι περίπου 19 μm, αρκετά μεγάλη σε σχέση με άλλα δοκίμια και με το αντίστοιχο δοκίμιο 5α.

Για τη μεγάλη αυτή διαφορά ευθύνονται, πιθανόν, και τα οξείδια που μπορεί σε κάποια σημεία να παράμειναν και μετά την πλύση του δοκιμίου με αμμωνία.



(α)



(β)

**Εικόνα 85:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

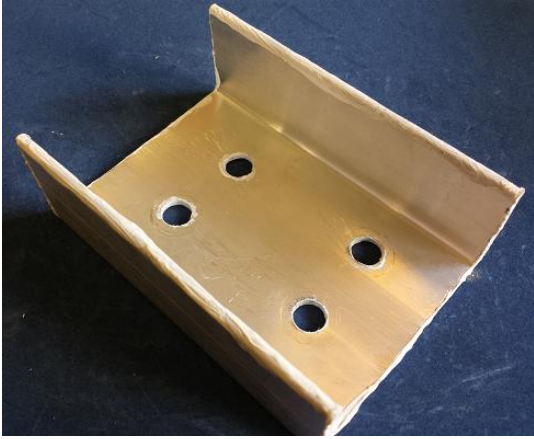
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	5,0	4,0	6,0	4,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	5,0
<b>High</b>	14,0	9,0	13,0	11,0	9,0	7,0	9,0	6,0	9,0	10,0
<b>MO</b>	8,0	7,0	8,0	6,0	7,0	6,0	6,0	5,0	6,0	7,0
<b>σ</b>	4,0	2,0	3,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0

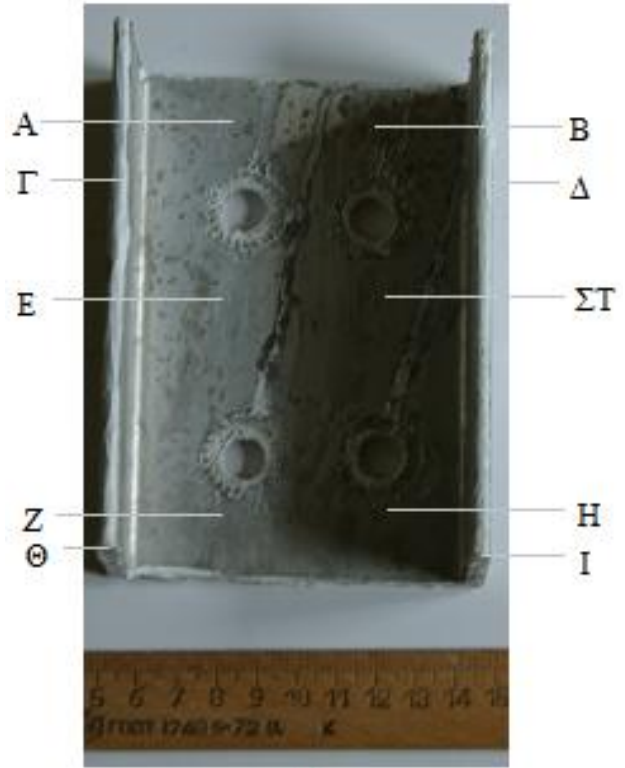
**Πίνακας 48:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 3,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 7,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 4μm. Επιπρόσθετα βλέπουμε ότι η πλευρά αυτή που συνδεόταν με την εποξειδική ρητίνη έχει χαμηλότερη οξείδωση από άλλα δοκίμια. Παρόμοιο αποτέλεσμα, με χαμηλή άνοδο, πήραμε και στο αντίστοιχο δοκίμιο 5α.



(α)



(β)

**Εικόνα 86:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	6,0	6,0	---	---	4,0	6,0	6,0	4,0	---	---
<b>High</b>	18,0	17,0	---	---	9,0	13,0	9,0	8,0	---	---
<b>MO</b>	13,0	12,0	---	---	6,0	9,0	8,0	7,0	---	---
<b>σ</b>	4,0	3,0	---	---	2,0	3,0	1,0	1,0	---	---

**Πίνακας 49:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 2,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 9,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 7μm. Αποτελέσματα που είναι παρόμοια με την αντίστοιχη πλευρά 5α.

#### 4.1.11 Δοκίμιο 6α



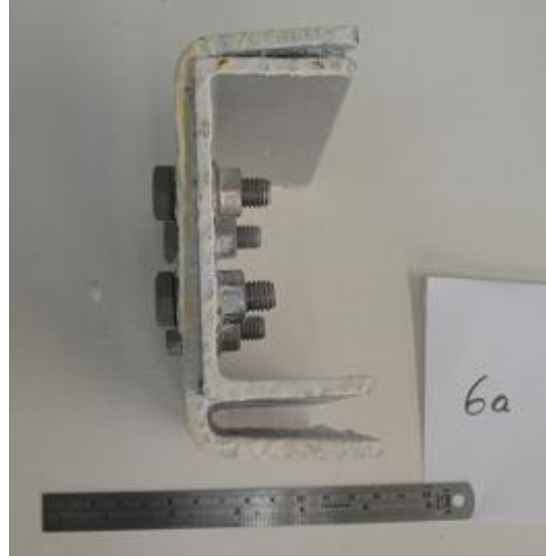
(α)



(β)



(γ)



(δ)

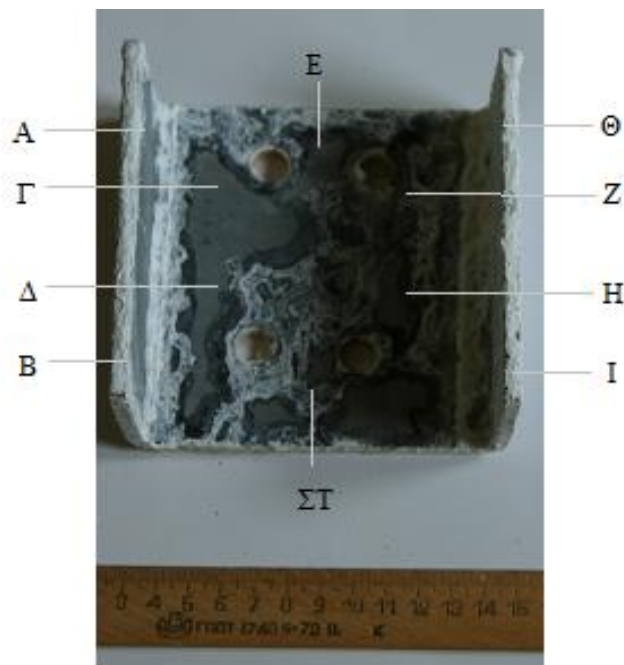
*Εικόνα 87: (α),(β) Δοκίμιο 6α πριν την αλατονέφωση  
(γ),(δ),(ε) Δοκίμιο 6α μετά την αλατονέφωση*



(ε)



(α)



(β)

**Εικόνα 88:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

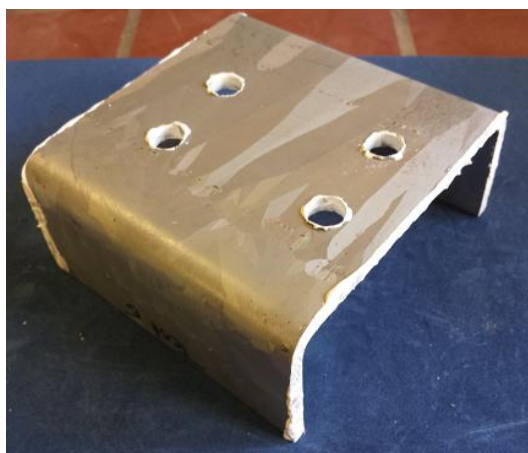
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	57,7	70,7	47,7	43,0	53,6	56,8	47,9	49,0	53,8	54,8
<b>High</b>	73,2	98,0	64,1	76,8	71,8	72,2	73,6	70,9	69,8	87,8
<b>MO</b>	64,5	81,0	57,4	58,2	62,1	64,4	64,8	61,2	63,2	74,8
<b>σ</b>	5,8	12,1	7,2	16,1	5,2	5,7	8,7	6,9	6,1	7,9

**Πίνακας 50:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

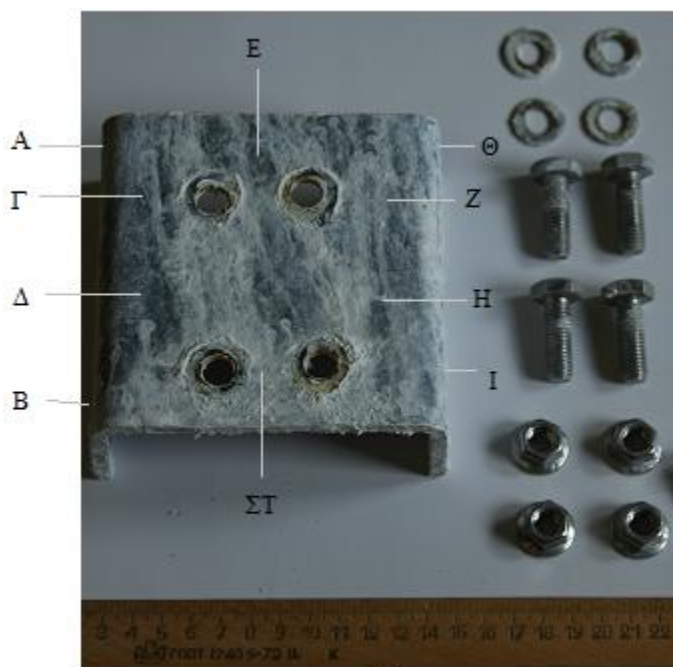
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 68,2μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 65,1μm. Η διαφορά είναι περίπου 3 μm.

Εδώ παρατηρούμε πως η μείωση είναι ελάχιστη σε σχέση με τα προηγούμενα δοκίμια, πράγμα που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανοδίωση προστατεύει το χάλυβα που συνδέεται μαζί της.



(α)



(β)

**Εικόνα 89:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	41,8	46,3	51,6	51,8	47,0	49,9	38,7	40,4	49,1	46,7
<b>High</b>	65,0	69,0	72,8	70,1	66,7	65,8	67,4	69,1	69,7	69,1
<b>MO</b>	53,8	56,5	61,2	59,8	57,8	55,9	52,2	53,1	58,1	53,1
<b>σ</b>	8,9	8,3	9,8	7,6	8,7	6,5	11,8	9,6	10,4	9,6

**Πίνακας 51:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

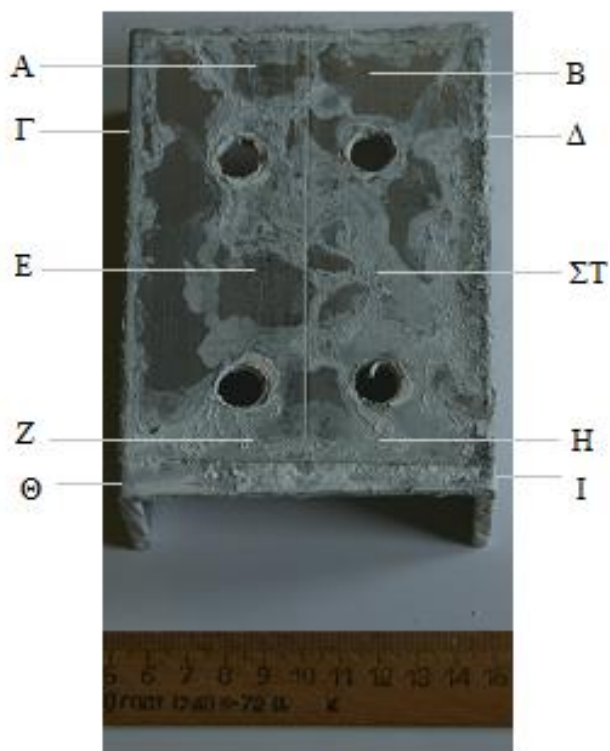
### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 69,3μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 50,9μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 18μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

Η μείωση αυτή είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με άλλα δοκίμια που πειραματιστήκαμε.



(α)



(β)

**Εικόνα 90:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	16,0	15,0	17,0	16,0	14,0	17,0	10,0	16,0	13,0	14,0
<b>High</b>	23,0	19,0	21,0	22,0	19,0	21,0	19,0	19,0	19,0	21,0
<b>MO</b>	20,0	17,0	19,0	19,0	16,0	18,0	15,0	17,0	16,0	17,0
<b>σ</b>	3,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,0	3,0	1,0	2,0	1,0

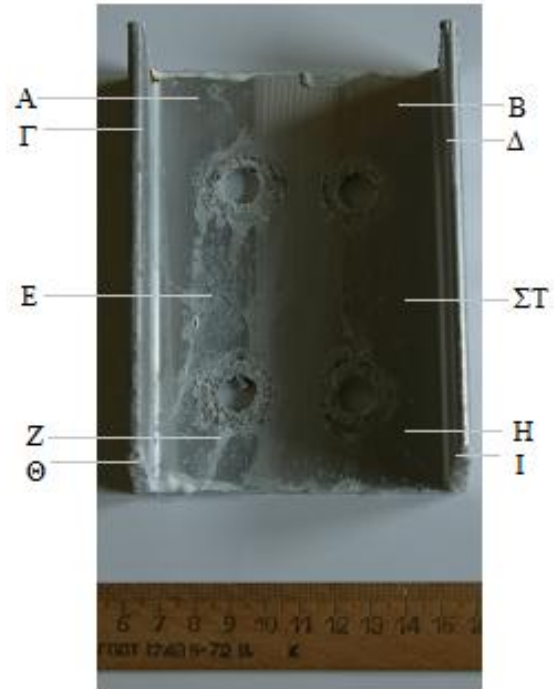
**Πίνακας 52:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 18,0μm. Μετά την αλατονέφωση ο μέσος όρος παραμένει σχεδόν σταθερός περίπου στα 18μm.



(α)



(β)

**Εικόνα 91:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	17,0	20,0	---	---	15,0	15,0	15,0	13,0	---	---
<b>High</b>	24,0	28,0	---	---	22,0	24,0	26,0	20,0	---	---
<b>MO</b>	20,0	24,0	---	---	18,0	19,0	20,0	17,0	---	---
<b>σ</b>	2,0	3,0	---	---	2,0	4,0	4,0	3,0	---	---

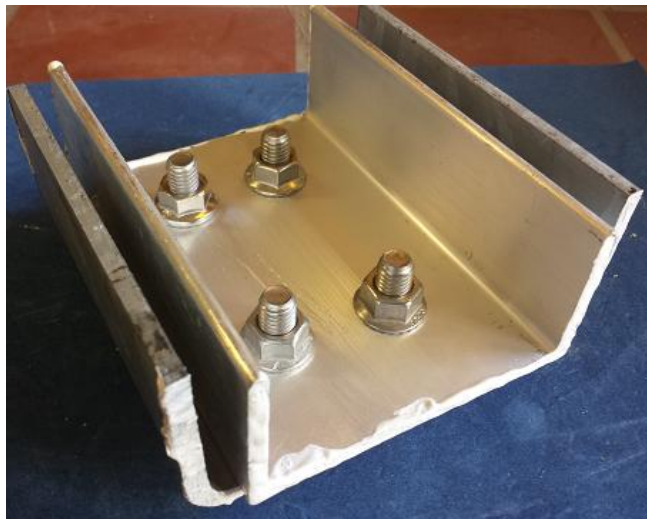
**Πίνακας 53:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 18,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 20,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξειδωση του μετάλλου κατά τα 2μm.



#### 4.1.12 Δοκίμιο 6β



(α)



(β)



(γ)

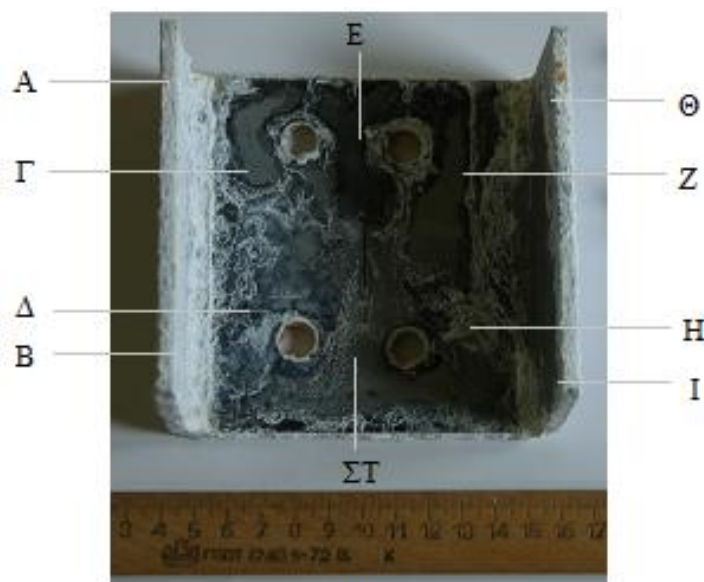


(δ)

*Εικόνα 92: (α) Δοκίμιο 6β πριν την αλατονέφωση  
(β), (γ), (δ) Δοκίμιο 6β μετά την αλατονέφωση*



(α)



(β)

**Εικόνα 93:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο  
(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	45,6	49,1	54,8	50,8	58,8	57,9	49,7	52,1	47,3	49,7
<b>High</b>	83,1	94,8	69,1	65,6	66,9	68,7	81,0	62,8	71,4	81,0
<b>MO</b>	62,5	68,4	62,4	59,7	61,5	62,5	64,1	57,4	58,9	64,1
<b>σ</b>	14,7	18,1	4,7	6,9	3,6	3,8	9,9	3,1	10,1	9,9

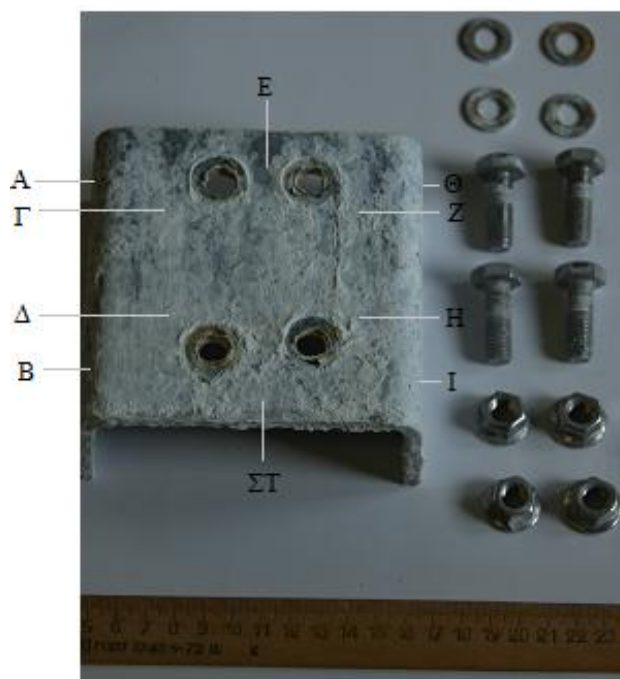
**Πίνακας 54:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 68,4μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 62,1μm. Η διαφορά είναι περίπου 6 μm.



(α)



(β)

**Εικόνα 94:** Πλευρά επιψευδαργυρωμένου χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο  
 (α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση  
 (β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

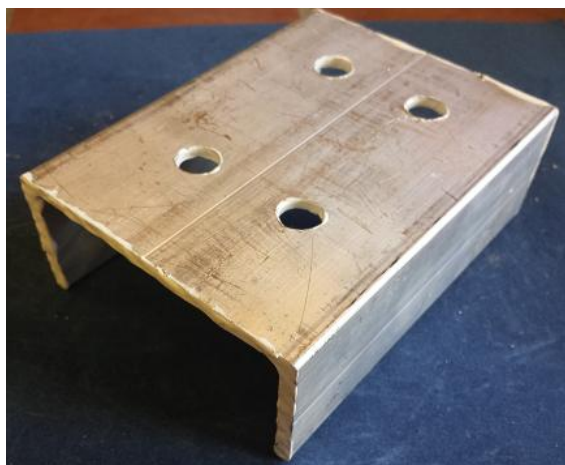
	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	41,8	36,9	48,5	44,5	41,5	44,9	48,1	43,5	44,0	41,8
<b>High</b>	68,8	67,1	70,7	54,5	66,9	63,5	68,7	66,7	66,7	62,9
<b>MO</b>	51,3	50,0	63,4	49,8	61,2	53,4	60,1	53,1	58,1	51,6
<b>σ</b>	9,7	12,8	12,8	4,4	9,8	7,4	7,3	8,8	9,3	8,1

**Πίνακας 55:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)

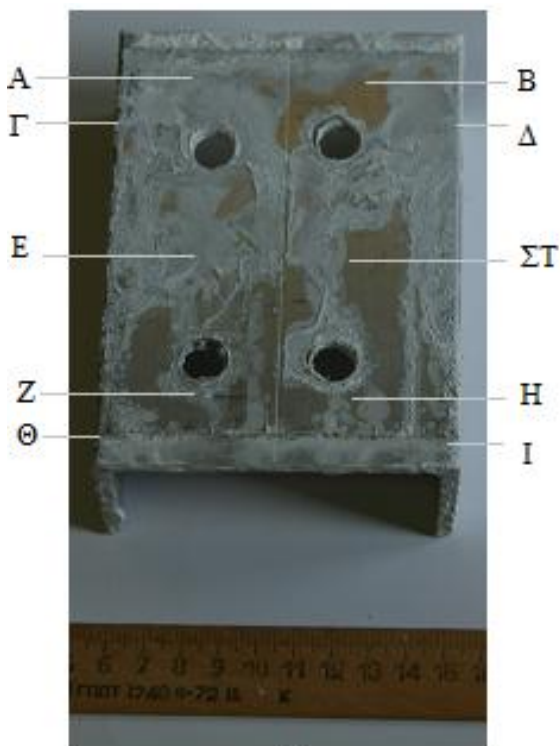
#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 72,4μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 55,2μm. Υπάρχει μια μείωση στο πάχος του γαλβανισμού, περίπου 16μm λόγω της οξείδωσης που υπέστη το δοκίμιο.

Παρατηρούμε πως αν και η ανοδίαση προστατεύει αποτελεσματικά τον χάλυβα από την μία πλευρά, από την άλλη δεν συμβάλλει καθόλου στην προστασία του και για αυτό βλέπουμε τόσο μεγάλες διαφορές σε αυτήν την πλευρά και στην αντίστοιχη β.α.



(α)



(β)

**Εικόνα 95:** Πλευρά αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	15,0	15,0	15,0	16,0	15,0	16,0	15,0	12,0	16,0	15,0
<b>High</b>	19,0	20,0	23,0	24,0	19,0	19,0	20,0	23,0	23,0	18,0
<b>MO</b>	17,0	18,0	18,0	19,0	17,0	18,0	18,0	18,0	19,0	17,0
<b>σ</b>	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	1,0	2,0	4,0	3,0	1,0

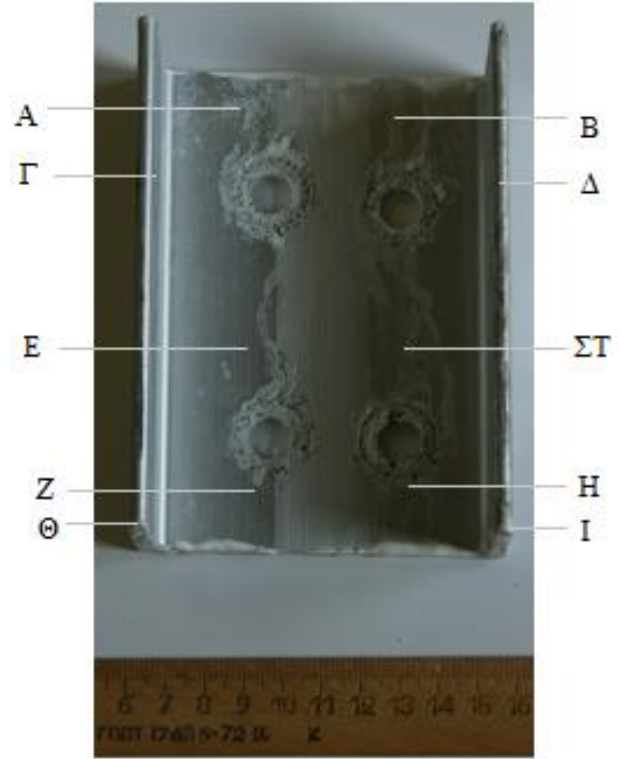
**Πίνακας 56:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

#### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 18,0μm. Μετά την αλατονέφωση ο μέσος όρος παραμένει σχεδόν σταθερός περίπου στα 18μm.



(α)



(β)

**Εικόνα 96:** Πλευρά αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα

(α) δοκίμιο πριν την αλατονέφωση

(β) δοκίμιο μετά την αλατονέφωση

	A(μm)	B(μm)	Γ(μm)	Δ(μm)	E(μm)	ΣΤ(μm)	Z(μm)	H(μm)	Θ(μm)	I(μm)
<b>Low</b>	17,0	16,0	---	---	18,0	16,0	17,0	14,0	---	---
<b>High</b>	24,0	23,0	---	---	30,0	22,0	23,0	19,0	---	---
<b>MO</b>	21,0	19,0	---	---	24,0	18,0	20,0	16,0	---	---
<b>σ</b>	3,0	3,0	---	---	5,0	2,0	2,0	2,0	---	---

**Πίνακας 57:** Μετρήσεις που λήφθηκαν στην παραπάνω πλευρά του αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)

### Παρατηρήσεις:

Πριν την αλατονέφωση ο μέσος όρος ήταν 18,0μm ενώ μετά, κυμαίνεται γύρω στα 20,0μm. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια αύξηση στην οξείδωση του μετάλλου κατά τα 2μm.

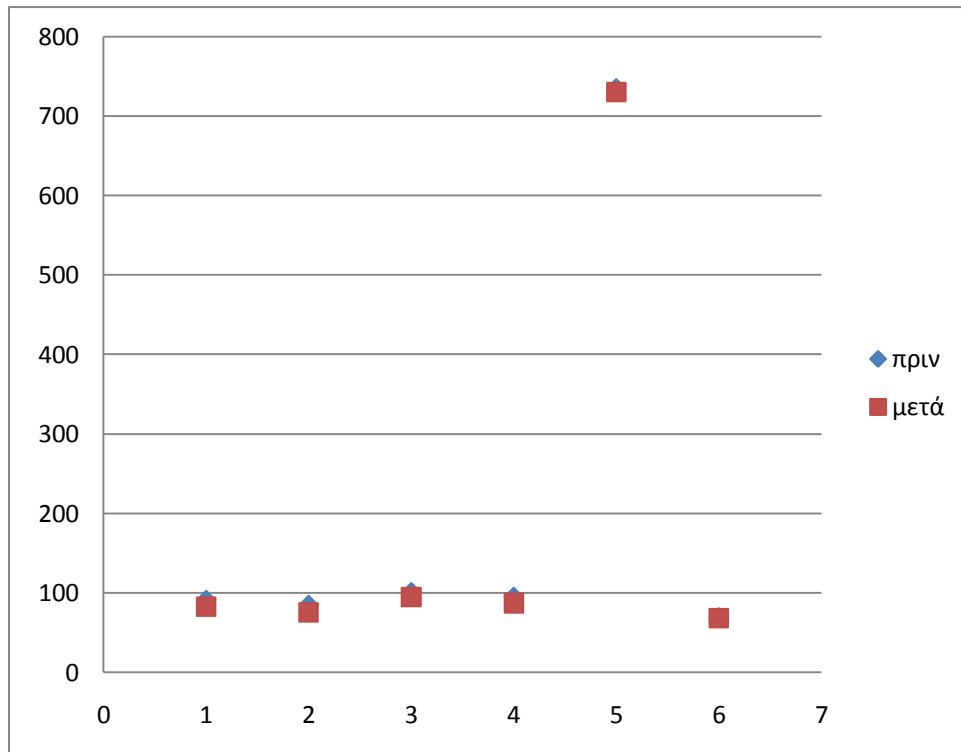
## 4.2 Συμπεράσματα

Παρακάτω παρατίθενται συγκεντρωμένα όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατηγοριοποιημένα για να εξαχθούν πιο εύκολα τα συμπεράσματα:

Μετρήσεις Χάλυβα:

	Πλευρά 1 χάλυβα (πριν την αλατονέφωση)			Πλευρά 1 χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)		
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)
1α	91,2	96,8	83,0	83,0	104,0	53,4
2α	84,9	95,0	76,3	75,2	111,0	38,2
3α	101,0	110,0	96,1	94,7	111,0	74,0
4α	95,1	118,0	84,6	87,1	106,0	69,9
5α	735	995	473	730,0	1097,0	498,0
6α	69,3	80,1	63,5	68,2	74,3	61,8

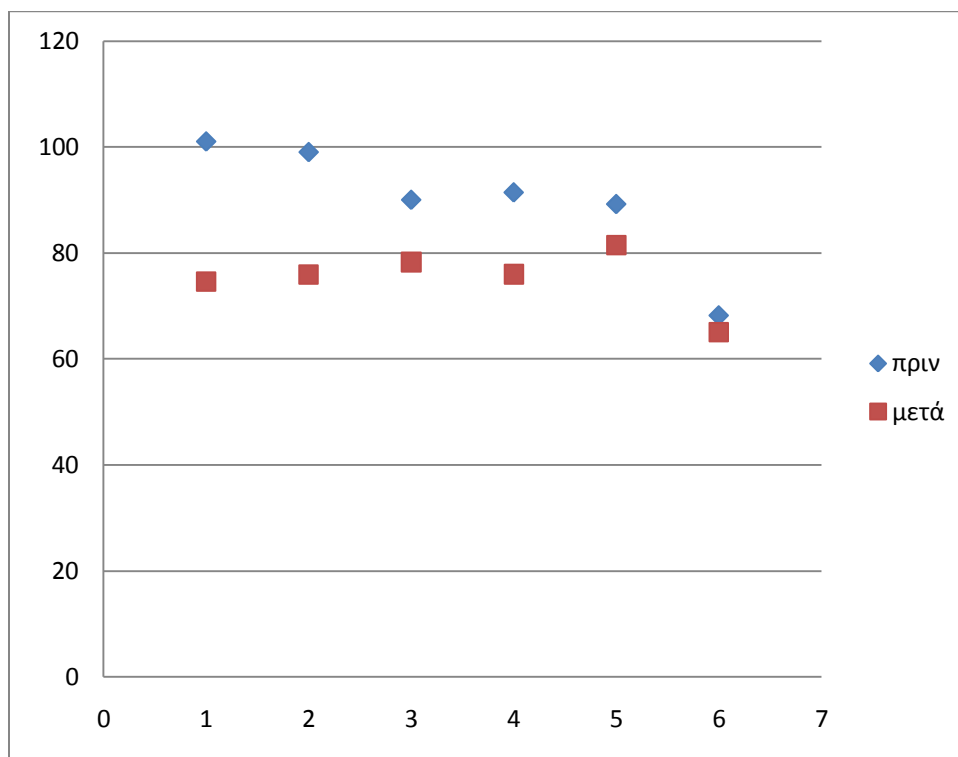
*Πίνακας 58: Μετρήσεις γαλβανισμού πλευράς χάλυβα που συνδέεται με το αλουμίνιο*



*Γραφική 6: Σύγκριση μετρήσεων γαλβανισμού της πλευράς του χάλυβα που συνδέεται με το αλουμίνιο*

	Πλευρά 2 χάλυβα (πριν την αλατονέφωση)			Πλευρά 2 χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)		
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)
Test 1a	101,0	114,0	89,9	74,6	108,0	51,6
Test 2a	99,0	114,0	89,7	75,9	93,3	50,8
Test 3a	90,0	97,6	83,6	78,3	97,7	50,1
Test 4a	91,4	96,8	85,4	76,0	109,0	52,1
Test 5a	89,2	92,3	82,3	81,5	109,0	53,3
Test 6a	68,2	74,3	61,8	65,1	98,0	43,0

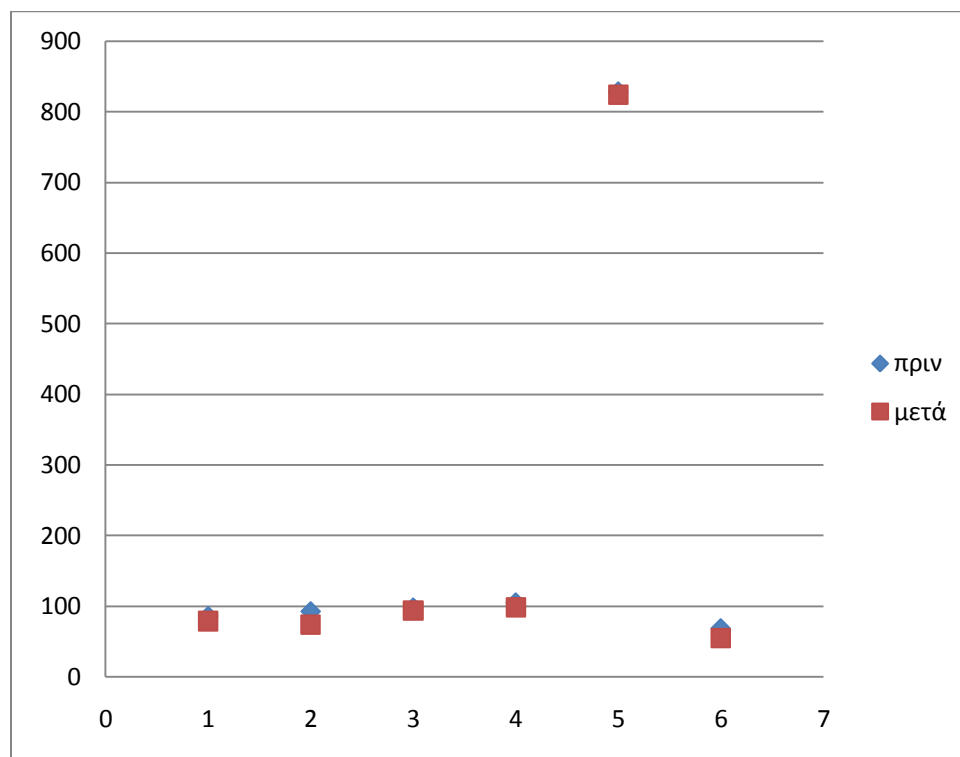
**Πίνακας 59:** Μετρήσεις γαλβανισμού πλευράς χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο



**Γραφική 7:** Σύγκριση μετρήσεων γαλβανισμού της πλευράς του χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο

	Πλευρά 1 χάλυβα (πριν την αλατονέφωση)			Πλευρά 1 χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)		
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)
Test 1β	85,7	94,8	77,3	78,9	102,0	44,4
Test 2β	92,5	106,0	83,0	73,7	101,0	46,8
Test 3β	97,8	108,0	86,9	93,9	113,0	73,6
Test 4β	105,0	116,0	98,0	98,7	117,0	71,3
Test 5β	829,0	1295,0	412,0	824,0	1208,0	396,0
Test 6β	68,4	75,9	62,2	55,2	70,7	36,8

**Πίνακας 60:** Μετρήσεις γαλβανισμού πλευράς χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο

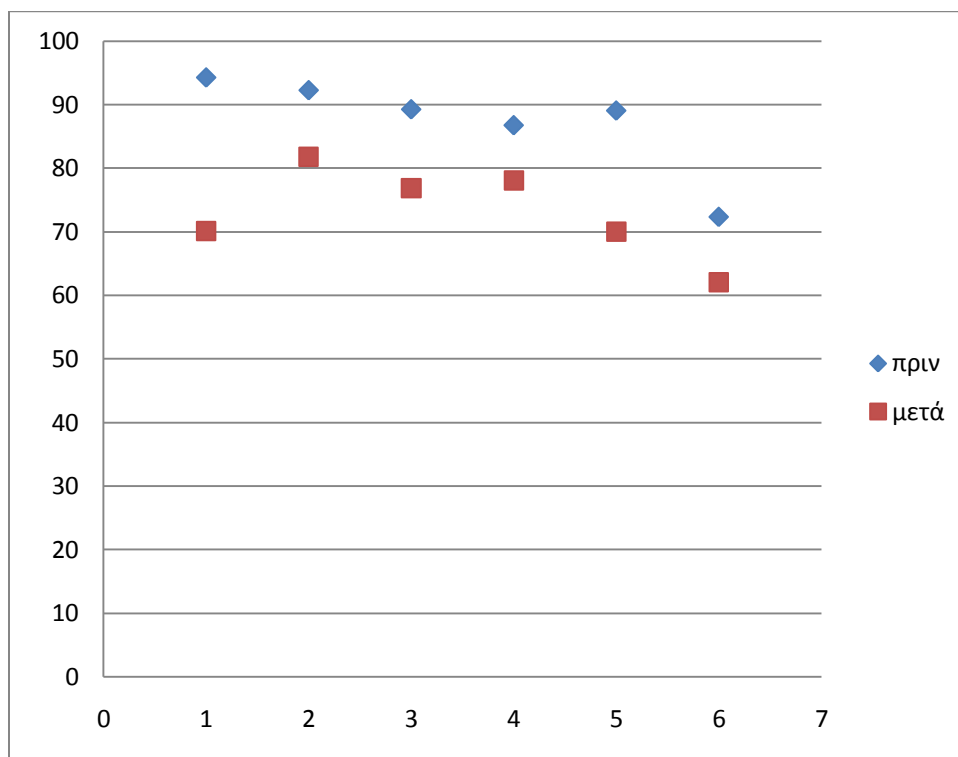


**Γραφική 8:** Σύγκριση μετρήσεων γαλβανισμού της πλευράς του χάλυβα που συνδεόταν με το αλουμίνιο



	Πλευρά 2 χάλυβα (πριν την αλατονέφωση)			Πλευρά 2 χάλυβα (μετά την αλατονέφωση)		
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)
Test 1β	94,3	118,0	82,3	70,1	101,0	49,0
Test 2β	92,3	98,0	83,5	81,8	101,0	52,0
Test 3β	89,3	94,5	84,4	76,9	104,0	48,5
Test 4β	86,8	92,9	82,0	78,1	104,0	49,3
Test 5β	89,1	92,9	84,0	70,0	109,0	53,3
Test 6β	72,4	87,6	65,6	62,1	94,8	45,6

**Πίνακας 61:** Μετρήσεις γαλβανισμού πλευράς χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο

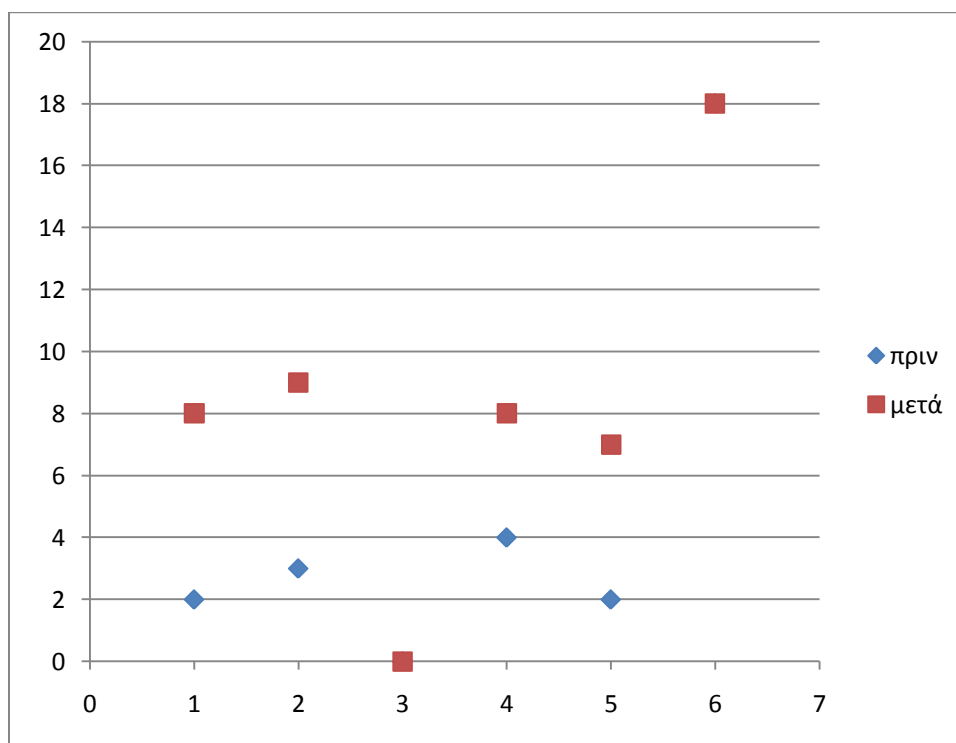


**Γραφική 9:** Σύγκριση μετρήσεων γαλβανισμού της πλευράς του χάλυβα που δεν συνδεόταν με το αλουμίνιο

Μετρήσεις Αλουμινίου:

	Πλευρά 1 αλουμινίου (πριν την αλατονέφωση)			Πλευρά 1 αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)		
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)
Test 1a	2,0	4,0	1,0	8,0	14,0	4,0
Test 2a	3,0	5,0	1,0	9,0	18,0	4,0
Test 3a	---	---	---	---	---	---
Test 4a	4,0	6,0	1,0	8,0	14,0	3,0
Test 5a	2,0	3,0	1,0	7,0	15,0	3,0
Test 6a	18,0	18,0	17,0	18,0	23,0	10,0

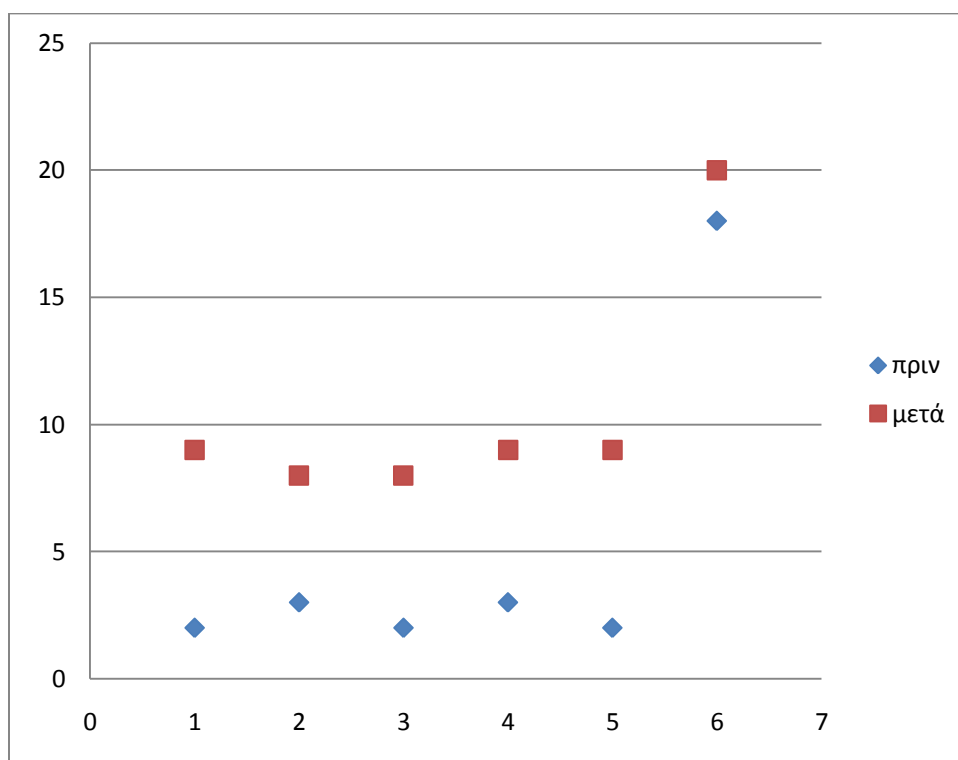
*Πίνακας 62: Μετρήσεις οξείδωσης πλευράς αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα*



*Γραφική 10: Σύγκριση μετρήσεων οξείδωσης της πλευράς του αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα*

	Πλευρά 2 αλουμινίου (πριν την αλατονέφωση)			Πλευρά 2 αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)		
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)
Test 1α	2,0	3,0	0,0	9,0	14,0	5,0
Test 2α	3,0	4,0	1,0	8,0	11,0	5,0
Test 3α	2,0	4,0	0,0	8,0	15,0	5,0
Test 4α	3,0	4,0	1,0	9,0	13,0	4,0
Test 5α	2,0	3,0	0,0	9,0	18,0	3,0
Test 6α	18,0	19,0	16,0	20,0	28,0	13,0

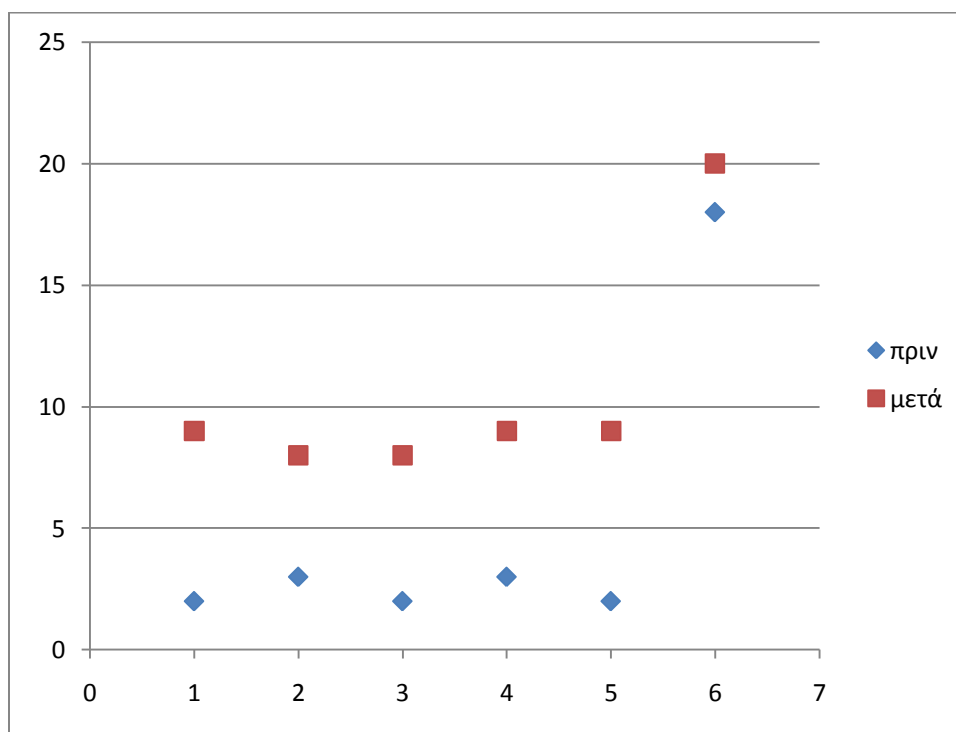
**Πίνακας 63:** Μετρήσεις οξείδωσης πλευράς αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα



**Γραφική 11:** Σύγκριση μετρήσεων οξείδωσης της πλευράς του αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα

	Πλευρά 1 αλουμινίου (πριν την αλατονέφωση)			Πλευρά 1 αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)		
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)
Test 1β	2,0	3,0	0,0	9,0	14,0	5,0
Test 2β	3,0	4,0	1,0	8,0	11,0	5,0
Test 3β	2,0	4,0	0,0	8,0	15,0	5,0
Test 4β	3,0	4,0	1,0	9,0	13,0	4,0
Test 5β	2,0	3,0	0,0	9,0	18,0	3,0
Test 6β	18,0	19,0	16,0	20,0	28,0	13,0

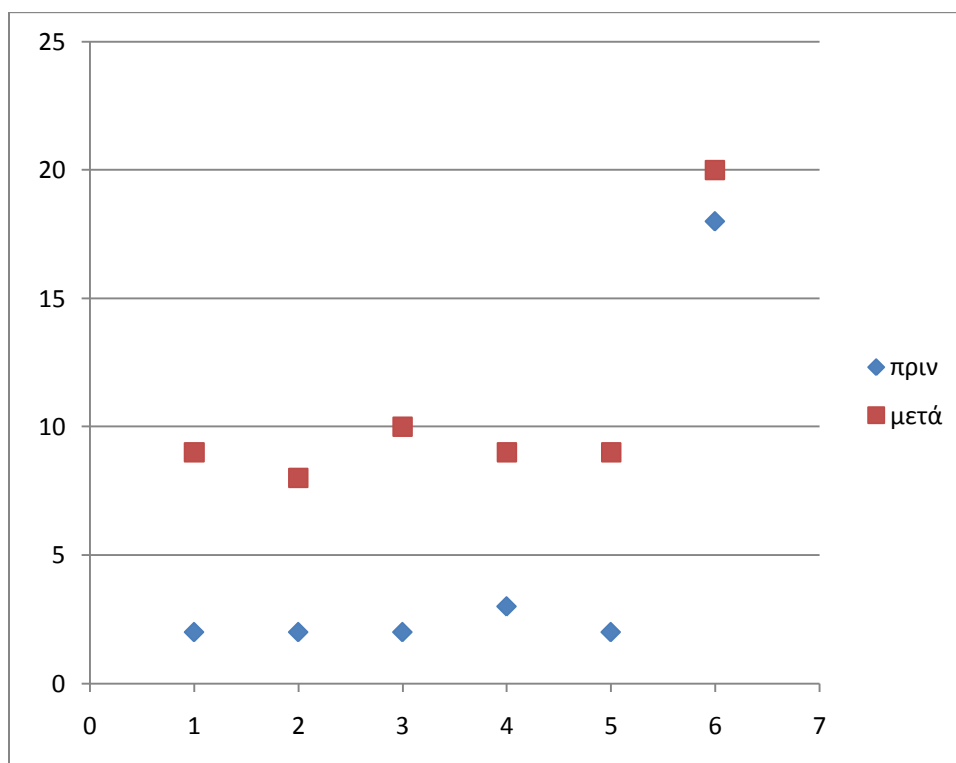
**Πίνακας 64:** Μετρήσεις οξείδωσης πλευράς αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα



**Γραφική 12:** Σύγκριση μετρήσεων οξείδωσης της πλευράς του αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα

	Πλευρά 1 αλουμινίου (πριν την αλατονέφωση)			Πλευρά 1 αλουμινίου (μετά την αλατονέφωση)		
	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)	Μέσος Όρος (μm)	Highest (μm)	Lowest (μm)
Test 1β	2,0	4,0	0,0	9,0	20,0	6,0
Test 2β	2,0	4,0	2,0	8,0	14,0	4,0
Test 3β	2,0	3,0	1,0	10,0	16,0	6,0
Test 4β	3,0	4,0	1,0	9,0	18,0	4,0
Test 5β	2,0	3,0	0,0	9,0	18,0	4,0
Test 6β	18,0	19,0	16,0	20,0	30,0	14,0

**Πίνακας 65:** Μετρήσεις οξείδωσης πλευράς αλουμινίου που δεν συνδεόταν με το χάλυβα



**Γραφική 13:** Σύγκριση μετρήσεων οξείδωσης της πλευράς του αλουμινίου που συνδεόταν με το χάλυβα

Μέσω των παραπάνω πινάκων και γραφικών παραστάσεων εύκολα εξάγεται το συμπέρασμα του ποιες μέθοδοι είναι αποτελεσματικότεροι κατά την οξειδωση των βάσεων. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος φαίνεται να είναι η ανοδίσωση του αλουμινίου, όπου η μείωση του γαλβανισμού στη πλευρά που συνδεόταν, χάλυβας και αλουμίνιο, ήταν πολύ μικρή.

Άλλη μία μέθοδος που έφερε καλά αποτελέσματα ήταν και η εποξειδική ρητίνη όπου η μείωση στο μέρος που είχε τεθεί η ρητίνη ήταν ελάχιστη. Η τεχνική αυτή είναι λίγο πιο ακριβή από την προηγούμενη αλλά τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά.

Τέλος, και η λαστιχοταινία κατάφερε να προστατεύσει αποτελεσματικά τον χάλυβα από την οξειδωση αλλά όχι τόσο καλά σε σύγκριση με τις προηγούμενες δύο μεθόδους.

## **Κεφάλαιο 5: Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 100kW Μελιγαλά**

Στο κεφάλαιο αυτό, θα μελετήσουμε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στο Μελιγαλά, εγκαταστημένης ισχύος 100kW, στην οποία παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης. Σε αυτό το πάρκο παρατηρήθηκε από τους ιδιοκτήτες μία άνιση μείωση της απόδοσης που κυμαινόταν από 2,4% έως και 8,4%.

Λήφθηκαν όλες οι παραμέτροι υπόψη, όπως φαινόμενο PID, οξείδωση των βάσεων και οι μειώσεις λόγω γήρανσης.



*Εικόνα 97 & 98: Φωτογραφίες παρμένες από τις βάσεις των φωτοβολταϊκών στο Μελιγαλά*

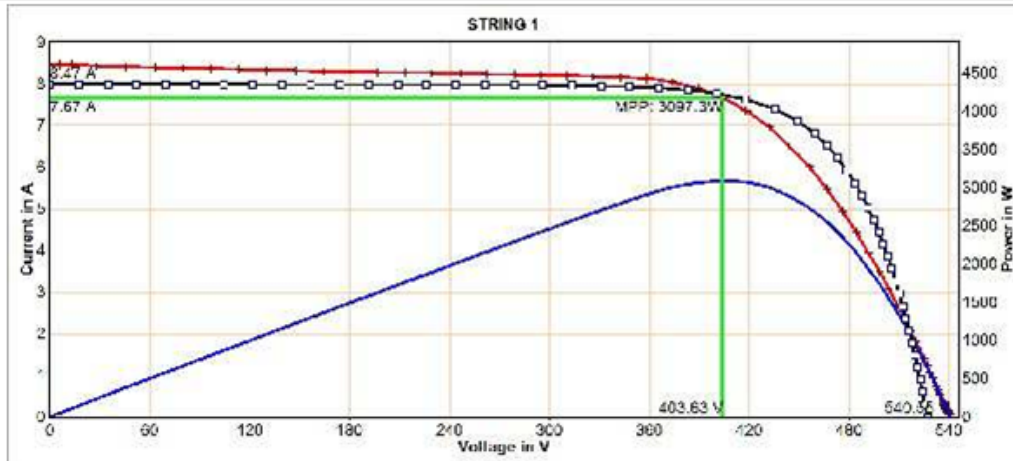
Από τις παραπάνω φωτογραφίες και τις μετρήσεις που λάβαμε φαίνεται ότι δεν ήταν πρόβλημα οξείδωσης των βάσεων.

Τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η μείωση της απόδοσης ήταν λόγω γήρανσης των πλαισίων. Θεωρητικά, μέσα σε δύο χρόνια μείωση έπρεπε να είναι περίπου 3%, αλλά τα θεωρητικά αυτά αποτελέσματα έχουν γίνει σε STC, σταθερές και εργαστηριακές συνθήκες. Οι μετρήσεις, όμως, σε ένα πάρκο εν χρήσει διαφοροποιούνται επειδή δεν υπάρχουν ούτε σταθερές συνθήκες (οι μετρήσεις γίνονται με αναγωγές ανάλογα με την θερμοκρασία) ούτε και τόσο ακριβείας όργανα. Για αυτό το λόγο οι μείωση σε ορισμένα φωτοβολταϊκά έφτασε και το 8,4%.

Παράρτημα Α  
Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 100kW  
Μελιγαλά



## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3704,7 Wp	3840,0 W	-3,5 %
	$P_{pk\ max}$ :	3889,9 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3519,4 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,15 A	7,86 A	3,7 %
	$V_{pmax0}$ :	454,4 V	488,0 V	-6,9 %
	$I_{sc0}$ :	8,99 A	8,48 A	6,1 %
	$V_{oc0}$ :	592,7 V	579,2 V	2,3 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3097,3 W		
	$I_{pmax}$ :	7,67 A		
	$V_{pmax}$ :	403,6 V		
	$I_{sc}$ :	8,47 A		
	$V_{oc}$ :	540,5 V		
Calculated values:	$R_s$ :	10,1 Ohm	4,5 Ohm	123,9 %
	Losses by add. $R_s$ :	-370 W		
	$R_p$ :	4408 Ohm	4688 Ohm	-6,0 %
	FF:	0,68	0,78	-13,3 %
	NOCT:	42 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	45,6 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	941 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	49,3 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαριτηςμετρησεις\1.1.SUI

PVPM Serial No.: PVPM000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

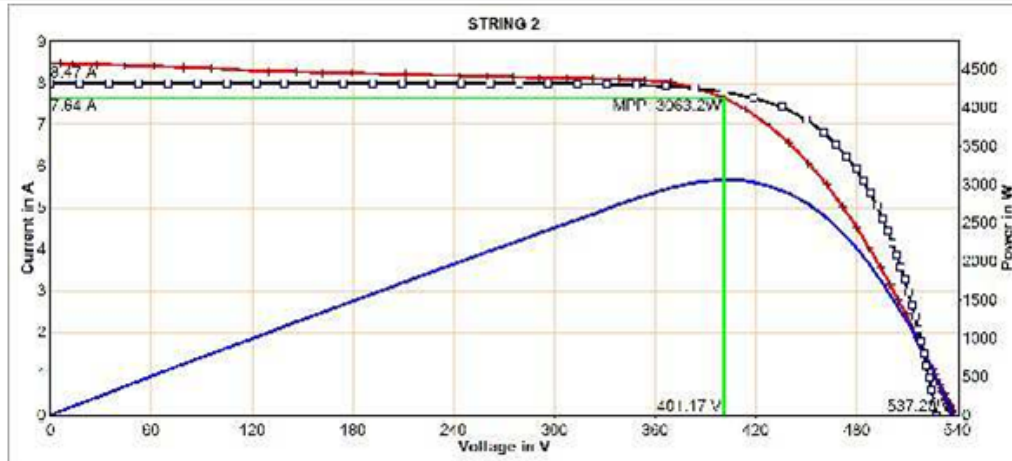
PV plant: 100kWp ΜΕΝΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 13Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:45:46

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: **Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)**

In series: 16 - Parallel: 1

		Measurm.:	Nominal:	Deviation:
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3652,8 W<sub>p</sub></b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-4,9 %</b>
	$P_{pk\ max}$ :	3835,4 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3470,1 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,09 A	7,86 A	3,0 %
	$V_{pmax0}$ :	451,4 V	488,0 V	-7,5 %
	$I_{sc0}$ :	8,98 A	8,48 A	5,8 %
	$V_{oc0}$ :	588,8 V	579,2 V	1,7 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3063,2 W		
	$I_{pmax}$ :	7,64 A		
	$V_{pmax}$ :	401,2 V		
	$I_{sc}$ :	8,47 A		
	$V_{oc}$ :	537,2 V		
Calculated values:	$R_s$ :	10,5 Ohm	4,5 Ohm	134,1 %
	Losses by add. $R_s$ :	-395 W		
	$R_p$ :	4240 Ohm	4688 Ohm	-9,5 %
	FF:	0,67	0,78	-13,8 %
	NOCT:	41 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	45,3 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	944 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	49,3 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαριτης\μετρησεις\1.2.SUI

PVPM Serial No.: PVPMM000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

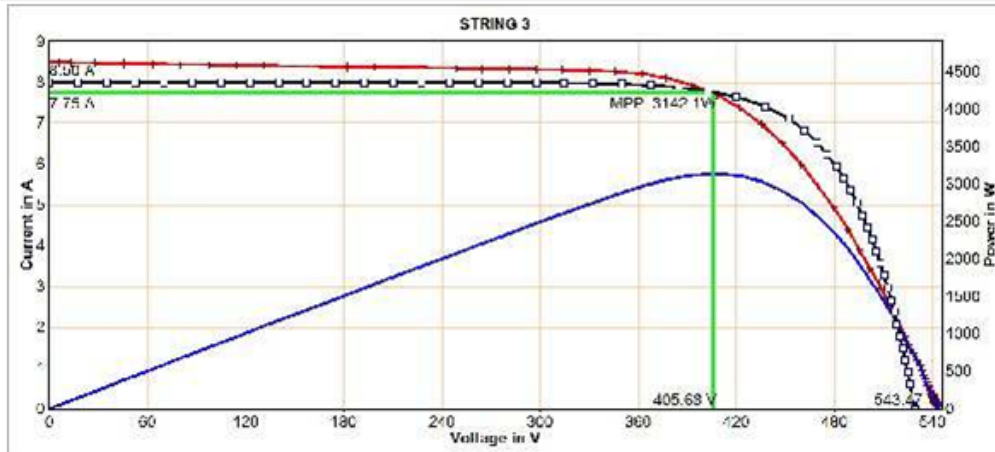
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 1 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:46:14

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<u>Peak power Ppk:</u>	3723,6 Wp	3840,0 W	-3,0 %
	<u>Ppk max:</u>	3909,8 W	3920,0 W	
	<u>Ppk min:</u>	3537,5 W	3840,0 W	
	<u>I pmax0:</u>	8,21 A	7,86 A	4,4 %
	<u>Vpmax0:</u>	453,6 V	488,0 V	-7,0 %
	<u>I sc0:</u>	9,00 A	8,48 A	6,2 %
	<u>Voc0:</u>	592,8 V	579,2 V	2,3 %
Maximum values (actual):	<u>P max:</u>	3142,1 W		
	<u>I pmax:</u>	7,75 A		
	<u>Vpmax:</u>	405,7 V		
	<u>I sc:</u>	8,50 A		
	<u>Voc:</u>	543,5 V		
Calculated values:	<u>Rs:</u>	9,6 Ohm	4,5 Ohm	113,3 %
	<u>Losses by add. Rs:</u>	-343 W		
	<u>Rp:</u>	4542 Ohm	4688 Ohm	-3,1 %
	<u>FF:</u>	0,68	0,78	-12,9 %
	<u>NOCT:</u>	41 °C		
Conditions during measurement:	<u>Cell temperature T mod:</u>	44,6 °C		
	<u>Irradiance E eff:</u>	944 W/m2		
	<u>Temperature reference cell T ref:</u>	49,1 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ\Μεσαορίτης\μετρήσεις\1.3.SU1

PVPM Serial No.: PVP1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΠΙΘΗΣ

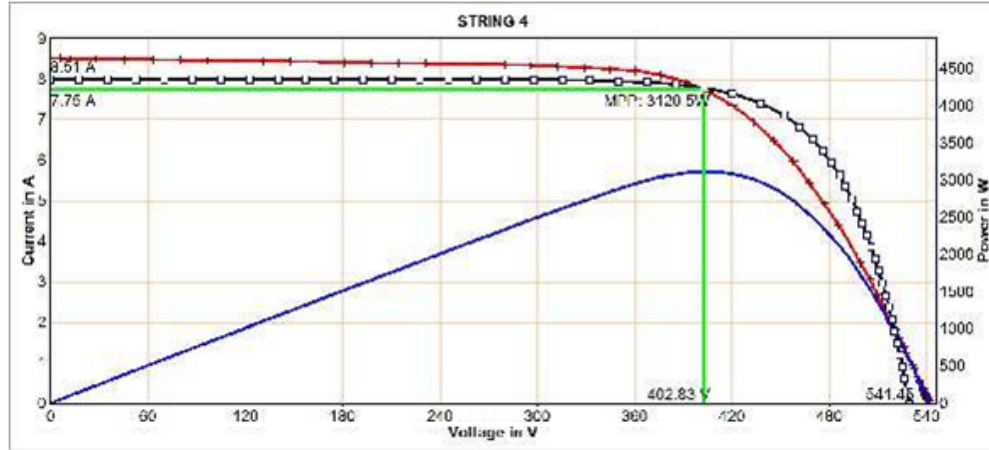
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 13Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:46:46

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>	
<b>Values at STC:</b>		<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3696,5 W <sub>pk</sub>	3840,0 W	-3,7 %
	$P_{pk\ max}$ :	3881,3 W	3920,0 W		
	$P_{pk\ min}$ :	3511,7 W	3840,0 W		
	$I_{pmax0}$ :	8,21 A	7,86 A	4,5 %	
	$V_{pmax0}$ :	450,2 V	488,0 V	-7,8 %	
	$I_{sc0}$ :	9,02 A	8,48 A	6,4 %	
	$V_{oc0}$ :	590,3 V	579,2 V	1,9 %	
<b>Maximum values (actual):</b>		$P_{max}$ :	3120,5 W		
	$I_{pmax}$ :	7,75 A			
	$V_{pmax}$ :	402,8 V			
	$I_{sc}$ :	8,51 A			
	$V_{oc}$ :	541,5 V			
<b>Calculated values:</b>		$R_s$ :	9,9 Ohm	4,5 Ohm	120,6 %
	Losses by add. $R_s$ :	-366 W			
	$R_p$ :	4518 Ohm	4688 Ohm	-3,6 %	
	FF:	0,68	0,78	-13,3 %	
	NOCT:	41 °C			
<b>Conditions during measurement:</b>		Cell temperature $T_{mod}$ :	44,5 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	943 W/m <sup>2</sup>			
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	49,0 °C			

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ\Μεσαρίτης\Μετρήσεις\1.4.SUI

PVPM Serial No.: PVP1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

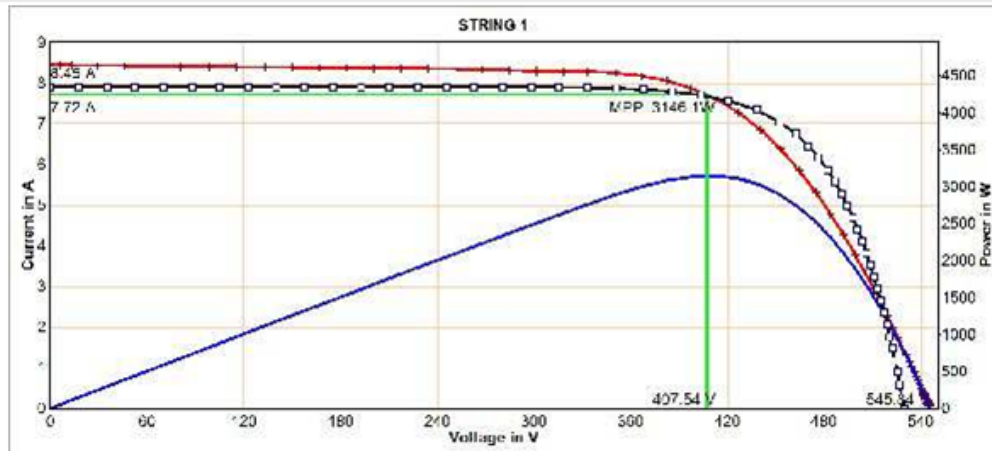
PV plant: 100kWp ΜΕΝΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 13Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:47:07

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power P<sub>pk</sub>:</b>	3749,4 W <sub>p</sub>	3840,0 W	-2,4 %
	<b>P<sub>pk</sub> max:</b>	3936,9 W	3920,0 W	
	<b>P<sub>pk</sub> min:</b>	3562,0 W	3840,0 W	
	<b>I<sub>pmax</sub>0:</b>	8,27 A	7,86 A	5,2 %
	<b>V<sub>pmax</sub>0:</b>	453,4 V	488,0 V	-7,1 %
	<b>I<sub>sc</sub>0:</b>	9,05 A	8,48 A	6,7 %
	<b>V<sub>oc</sub>0:</b>	593,8 V	579,2 V	2,5 %
Maximum values (actual):	<b>P<sub>max</sub>:</b>	3146,1 W		
	<b>I<sub>pmax</sub>:</b>	7,72 A		
	<b>V<sub>pmax</sub>:</b>	407,5 V		
	<b>I<sub>sc</sub>:</b>	8,45 A		
	<b>V<sub>oc</sub>:</b>	545,8 V		
Calculated values:	<b>R<sub>s</sub>:</b>	9,5 Ohm	4,5 Ohm	110,1 %
	<b>Losses by add. R<sub>s</sub>:</b>	-339 W		
	<b>R<sub>p</sub>:</b>	4426 Ohm	4688 Ohm	-5,6 %
	<b>FF:</b>	0,68	0,78	-12,6 %
	<b>NOCT:</b>	41 °C		
Conditions during measurement:	<b>Cell temperature T<sub>mod</sub>:</b>	44,0 °C		
	<b>Irradiance E<sub>eff</sub>:</b>	934 W/m <sup>2</sup>		
	<b>Temperature reference cell T<sub>ref</sub>:</b>	48,3 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτης\μετρήσεις\2.1.SU1

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

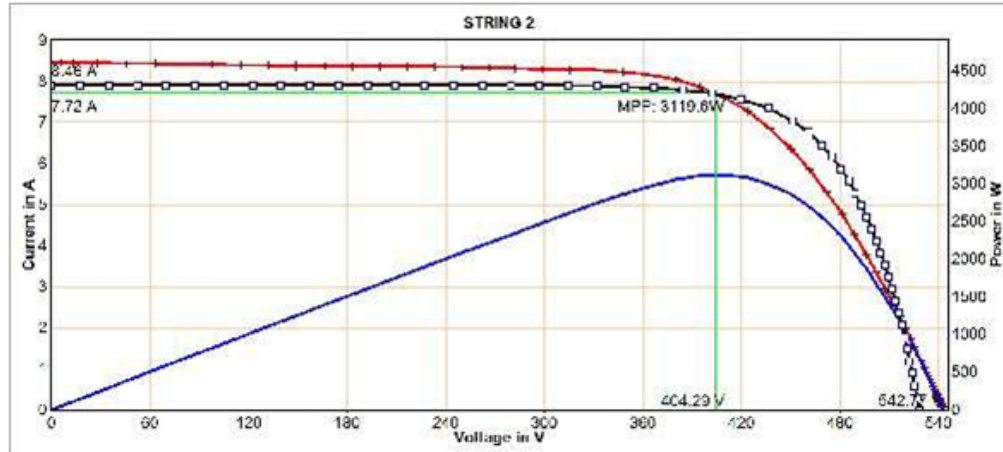
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 2 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:40:37

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3733,9 W <sub>p</sub>	3840,0 W	-2,8 %
	$P_{pk\ max}$ :	3920,6 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3547,2 W	3840,0 W	
	$I_{p\ max0}$ :	8,27 A	7,86 A	5,2 %
	$V_{p\ max0}$ :	451,7 V	488,0 V	-7,4 %
	$I_{sc0}$ :	9,06 A	8,48 A	6,9 %
	$V_{oc0}$ :	592,3 V	579,2 V	2,3 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3119,6 W		
	$I_{p\ max}$ :	7,72 A		
	$V_{p\ max}$ :	404,3 V		
	$I_{sc}$ :	8,46 A		
	$V_{oc}$ :	542,8 V		
Calculated values:	$R_s$ :	9,7 Ohm	4,5 Ohm	116,4 %
	Losses by add. $R_s$ :	-358 W		
	$R_p$ :	4493 Ohm	4688 Ohm	-4,1 %
	FF:	0,68	0,78	-13,0 %
	NOCT:	41 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	44,6 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	934 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	48,6 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαριτηζυετροησεις\2.2.SU1

PVPM Serial No.: PVPM000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

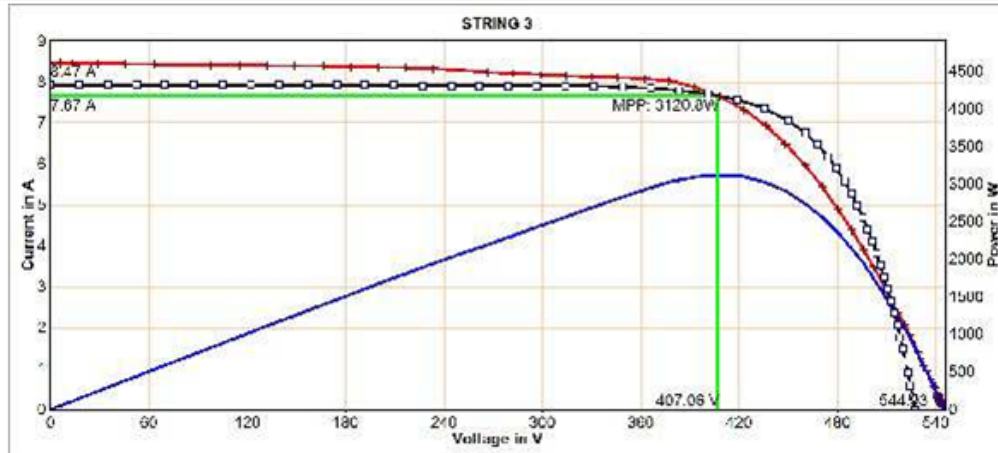
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 2 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:41:02

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3748,2 Wp	3840,0 W	-2,4 %
	$P_{pk\ max}$ :	3935,6 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3560,8 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,20 A	7,86 A	4,4 %
	$V_{pmax0}$ :	456,9 V	488,0 V	-6,4 %
	$I_{sc0}$ :	9,06 A	8,48 A	6,8 %
	$V_{oc0}$ :	596,7 V	579,2 V	3,0 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3120,8 W		
	$I_{pmax}$ :	7,67 A		
	$V_{pmax}$ :	407,1 V		
	$I_{sc}$ :	8,47 A		
	$V_{oc}$ :	544,9 V		
Calculated values:	$R_s$ :	10,2 Ohm	4,5 Ohm	127,1 %
	Losses by add. $R_s$ :	-385 W		
	$R_p$ :	4415 Ohm	4688 Ohm	-5,8 %
	FF:	0,68	0,78	-13,4 %
	NOCT:	41 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	45,1 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	934 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	48,7 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαριτης\μετρησεις\2.3.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

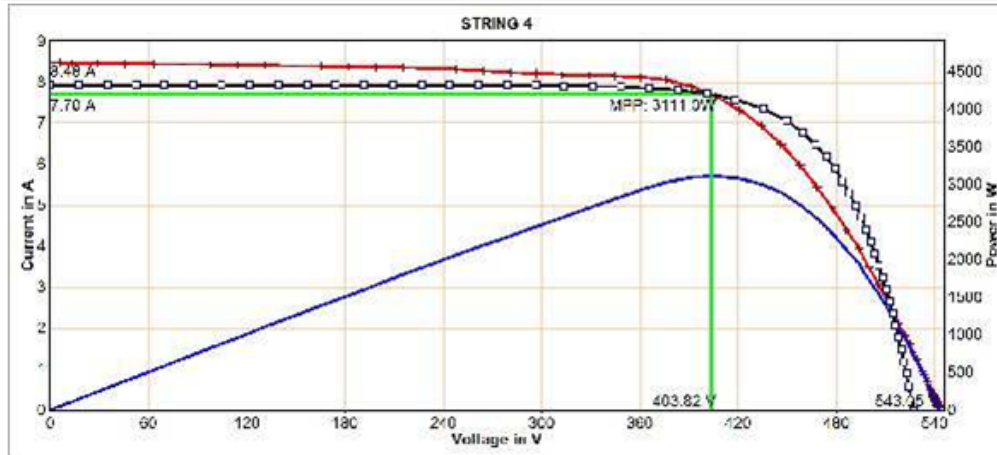
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 2 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:41:27

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: **Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)**

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>	
<b>Values at STC:</b>		<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3733,8 W<sub>p</sub></b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-2,8 %</b>
		$P_{pk\ max}$ :	3920,4 W	3920,0 W	
		$P_{pk\ min}$ :	3547,1 W	3840,0 W	
		$I_{pmax0}$ :	8,24 A	7,86 A	4,8 %
		$V_{pmax0}$ :	453,2 V	488,0 V	-7,1 %
		$I_{sc0}$ :	9,07 A	8,48 A	6,9 %
		$V_{oc0}$ :	594,4 V	579,2 V	2,6 %
<b>Maximum values (actual):</b>		$P_{max}$ :	3111,0 W		
		$I_{pmax}$ :	7,70 A		
		$V_{pmax}$ :	403,8 V		
		$I_{sc}$ :	8,48 A		
		$V_{oc}$ :	543,1 V		
<b>Calculated values:</b>		$R_s$ :	10,2 Ohm	4,5 Ohm	126,0 %
		Losses by add. $R_s$ :	-385 W		
		$R_p$ :	4515 Ohm	4688 Ohm	-3,7 %
		FF:	0,68	0,78	-13,5 %
		NOCT:	42 °C		
<b>Conditions during measurement:</b>		Cell temperature $T_{mod}$ :	45,2 °C		
		Irradiance $E_{eff}$ :	935 W/m <sup>2</sup>		
		Temperature reference cell $T_{ref}$ :	48,7 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ\Μεσασιρήσεις\επιρήσεις\2.4.SU1

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΠΙΘΣ

PVplant: 100KWp ΜΕΝΙΤΑΛΑΣ

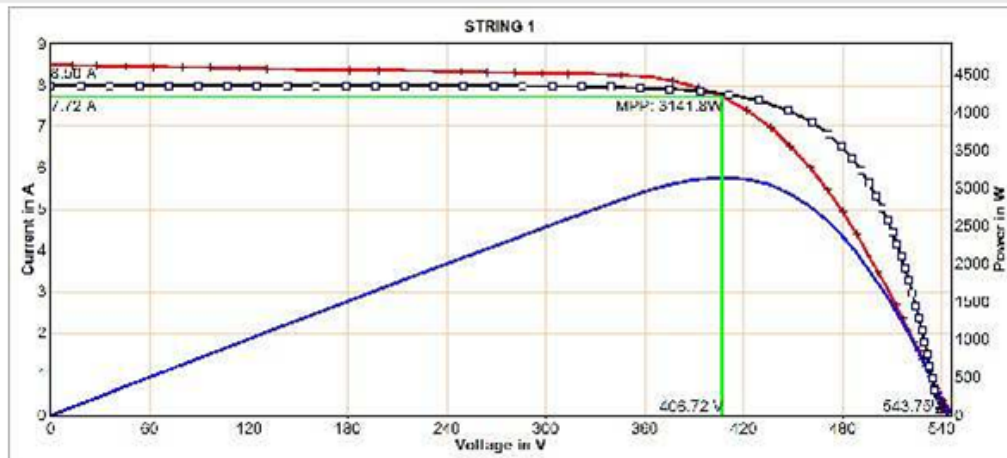
Plant part: INV 2 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:41:50

Description:



## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3637,1 Wp	3840,0 W	-5,3 %
	$P_{pk\ max}$ :	3818,9 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3455,2 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,20 A	7,86 A	4,3 %
	$V_{pmax0}$ :	443,5 V	488,0 V	-9,1 %
	$I_{sc0}$ :	9,02 A	8,48 A	6,4 %
	$V_{oc0}$ :	582,6 V	579,2 V	0,6 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3141,8 W		
	$I_{pmax}$ :	7,72 A		
	$V_{pmax}$ :	406,7 V		
	$I_{sc}$ :	8,50 A		
	$V_{oc}$ :	543,7 V		
Calculated values:	$R_s$ :	9,7 Ohm	4,5 Ohm	115,1 %
	Losses by add. $R_s$ :	-348 W		
	$R_p$ :	4488 Ohm	4688 Ohm	-4,3 %
	FF:	0,68	0,78	-12,9 %
	NOCT:	37 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	40,4 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	942 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	50,3 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ\Μεσοαρίτη\επιτησεις\3.1.SUI

PVPM Serial No.: PVPM000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

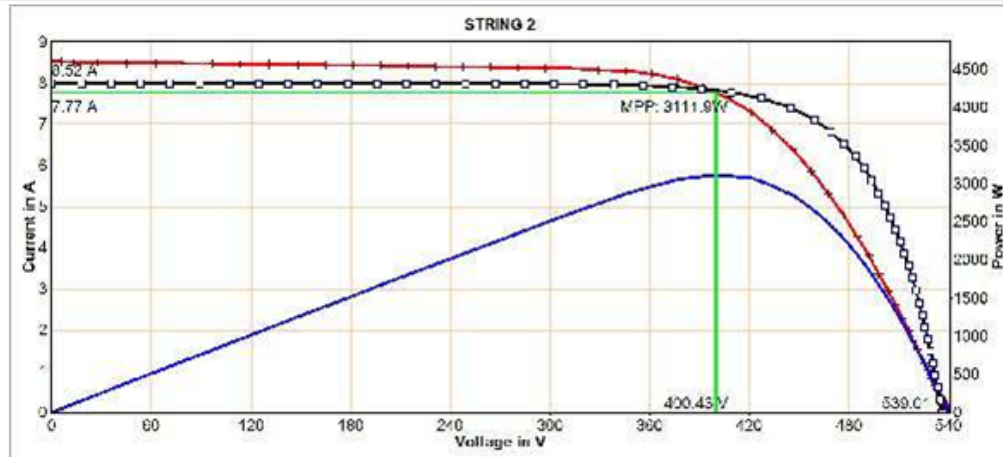
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 3 Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:16:00

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: **Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)**

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>	
<b>Values at STC:</b>		<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3615,0 Wp</b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-5,9 %</b>
	$P_{pk\ max}$ :	3795,8 W	3920,0 W		
	$P_{pk\ min}$ :	3434,3 W	3840,0 W		
	$I_{pmax0}$ :	8,25 A	7,86 A	4,9 %	
	$V_{pmax0}$ :	438,4 V	488,0 V	-10,2 %	
	$I_{sc0}$ :	9,04 A	8,48 A	6,6 %	
	$V_{oc0}$ :	579,1 V	579,2 V	0,0 %	
<b>Maximum values (actual):</b>		$P_{max}$ :	3111,9 W		
	$I_{pmax}$ :	7,77 A			
	$V_{pmax}$ :	400,4 V			
	$I_{sc}$ :	8,52 A			
	$V_{oc}$ :	539,0 V			
<b>Calculated values:</b>		$R_s$ :	9,8 Ohm	4,5 Ohm	116,8 %
	Losses by add. $R_s$ :	-357 W			
	$R_p$ :	4372 Ohm	4688 Ohm	-6,7 %	
	FF:	0,68	0,78	-13,2 %	
	NOCT:	38 °C			
<b>Conditions during measurement:</b>		Cell temperature $T_{mod}$ :	41,3 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	943 W/m <sup>2</sup>			
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	50,6 °C			

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαριτηζμετρησεις\3.2.SUI

PVPM Serial No.: PVP000006011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

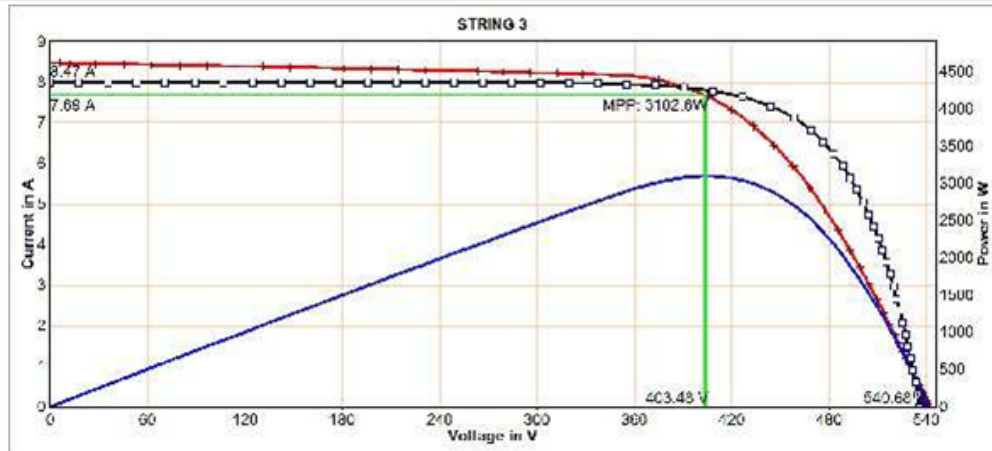
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 3 Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:17:03

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3612,2 Wp</b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-5,9 %</b>
	$P_{pk\ max}$ :	3792,8 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3431,6 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,15 A	7,86 A	3,7 %
	$V_{pmax0}$ :	443,1 V	488,0 V	-9,2 %
	$I_{sc0}$ :	8,98 A	8,48 A	5,9 %
	$V_{oc0}$ :	582,2 V	579,2 V	0,5 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3102,6 W		
	$I_{pmax}$ :	7,69 A		
	$V_{pmax}$ :	403,5 V		
	$I_{sc}$ :	8,47 A		
	$V_{oc}$ :	540,7 V		
Calculated values:	$R_s$ :	9,9 Ohm	4,5 Ohm	121,2 %
	Losses by add. $R_s$ :	-362 W		
	$R_p$ :	4458 Ohm	4688 Ohm	-4,9 %
	FF:	0,68	0,78	-13,2 %
	NOCT:	38 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	41,6 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	943 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	50,7 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτης\μετρήσεις\3.3.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΠΙΘΗΣ

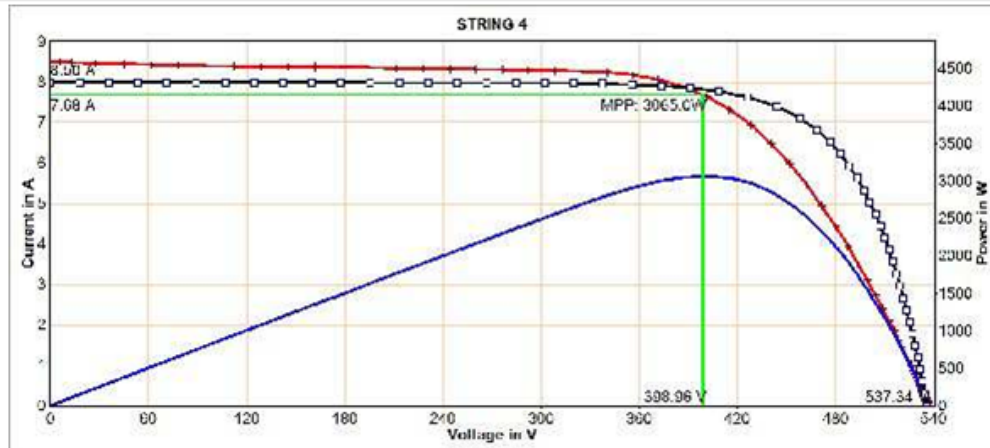
PV plant: 100kWp ΜΕΝΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 3 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:17:29

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3573,6 Wp	3840,0 W	-6,9 %
	$P_{pk\ max}$ :	3752,3 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3394,9 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,16 A	7,86 A	3,8 %
	$V_{pmax0}$ :	437,9 V	488,0 V	-10,3 %
	$I_{sc0}$ :	9,03 A	8,48 A	6,5 %
	$V_{oc0}$ :	578,5 V	579,2 V	-0,1 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3065,0 W		
	$I_{pmax}$ :	7,68 A		
	$V_{pmax}$ :	399,0 V		
	$I_{sc}$ :	8,50 A		
	$V_{oc}$ :	537,3 V		
Calculated values:	$R_s$ :	10,7 Ohm	4,5 Ohm	137,9 %
	Losses by add. $R_s$ :	-413 W		
	$R_p$ :	4322 Ohm	4688 Ohm	-7,8 %
	FF:	0,67	0,78	-14,1 %
	NOCT:	38 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	41,5 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	941 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	49,6 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτης\μετρήσεις\3.4.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΠΙΘΗΣ

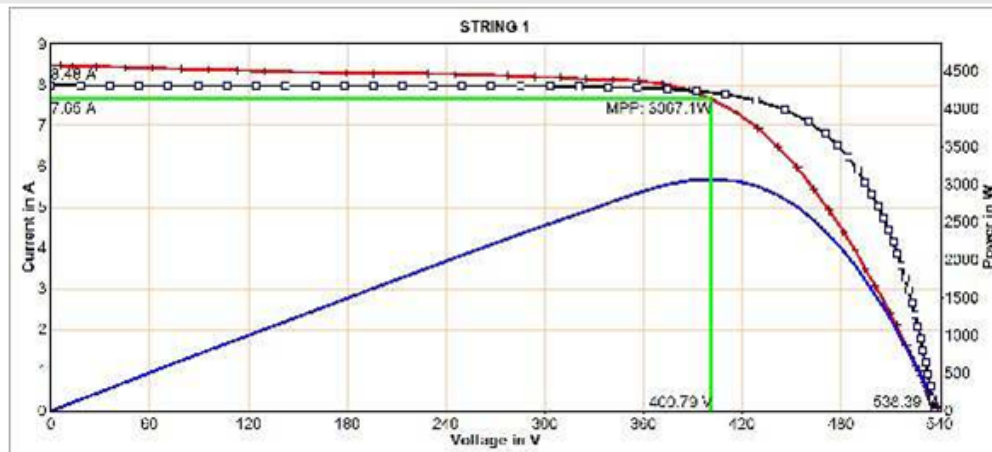
PV plant: 100kWp ΜΕΝΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 3 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:18:44

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>	
Values at STC:		<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3566,5 Wp</b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-7,1 %</b>
		$P_{pk\ max}$ :	3744,8 W	3920,0 W	
		$P_{pk\ min}$ :	3388,2 W	3840,0 W	
		$I_{pmax0}$ :	8,13 A	7,86 A	3,5 %
		$V_{pmax0}$ :	438,5 V	488,0 V	-10,1 %
		$I_{sc0}$ :	9,01 A	8,48 A	6,2 %
		$V_{oc0}$ :	578,4 V	579,2 V	-0,1 %
Maximum values (actual):		$P_{max}$ :	3067,1 W		
		$I_{pmax}$ :	7,65 A		
		$V_{pmax}$ :	400,8 V		
		$I_{sc}$ :	8,48 A		
		$V_{oc}$ :	538,4 V		
Calculated values:		$R_s$ :	10,6 Ohm	4,5 Ohm	136,7 %
		Losses by add. $R_s$ :	-407 W		
		$R_p$ :	4303 Ohm	4688 Ohm	-8,2 %
		FF:	0,67	0,78	-13,9 %
		NOCT:	38 °C		
Conditions during measurement:		Cell temperature $T_{mod}$ :	40,8 °C		
		Irradiance $E_{eff}$ :	941 W/m <sup>2</sup>		
		Temperature reference cell $T_{ref}$ :	51,5 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτηζμειτρήσεις\4.1.SUI

PVPM Serial No.: PVPMM000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΖΣΑΡΙΤΗΣ

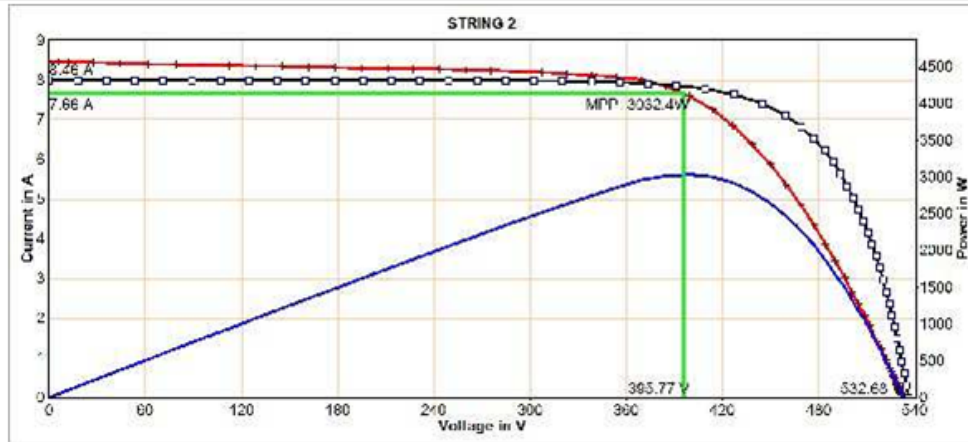
PV plant: 100kWp ΜΕΝΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 4 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:06:43

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: **Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)**

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3527,9 W<sub>p</sub></b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-8,1 %</b>
	$P_{pk\ max}$ :	3704,3 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3351,5 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,13 A	7,86 A	3,5 %
	$V_{pmax0}$ :	433,8 V	488,0 V	-11,1 %
	$I_{sc0}$ :	8,98 A	8,48 A	5,8 %
	$V_{oc0}$ :	572,9 V	579,2 V	-1,1 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3032,4 W		
	$I_{pmax}$ :	7,66 A		
	$V_{pmax}$ :	395,8 V		
	$I_{sc}$ :	8,46 A		
	$V_{oc}$ :	532,7 V		
Calculated values:	$R_s$ :	10,3 Ohm	4,5 Ohm	130,1 %
	Losses by add. $R_s$ :	-387 W		
	$R_p$ :	4369 Ohm	4688 Ohm	-6,8 %
	FF:	0,67	0,78	-13,8 %
	NOCT:	38 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	41,3 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	942 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	51,6 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτης\μετρήσεις\4.2.SU1

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

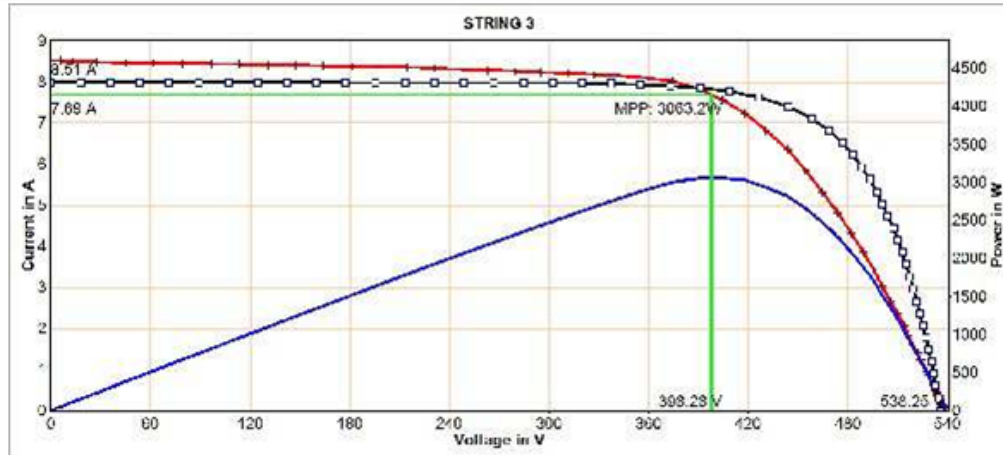
PV plant: 100kWp ΜΕΝΙΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 4 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:07:38

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3570,9 Wp	3840,0 W	-7,0 %
	$P_{pk\ max}$ :	3749,4 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3392,3 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,17 A	7,86 A	3,9 %
	$V_{pmax0}$ :	437,1 V	488,0 V	-10,4 %
	$I_{sc0}$ :	9,04 A	8,48 A	6,6 %
	$V_{oc0}$ :	579,4 V	579,2 V	0,0 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3063,2 W		
	$I_{pmax}$ :	7,69 A		
	$V_{pmax}$ :	398,3 V		
	$I_{sc}$ :	8,51 A		
	$V_{oc}$ :	538,2 V		
Calculated values:	$R_s$ :	10,9 Ohm	4,5 Ohm	143,3 %
	Losses by add. $R_s$ :	-430 W		
	$R_p$ :	4353 Ohm	4688 Ohm	-7,1 %
	FF:	0,67	0,78	-14,4 %
	NOCT:	38 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	41,5 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	941 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	51,9 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ\Μεσαοριτης\επιτοσεις\4.3.SU1

PVPM Serial No.: PVPMM000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

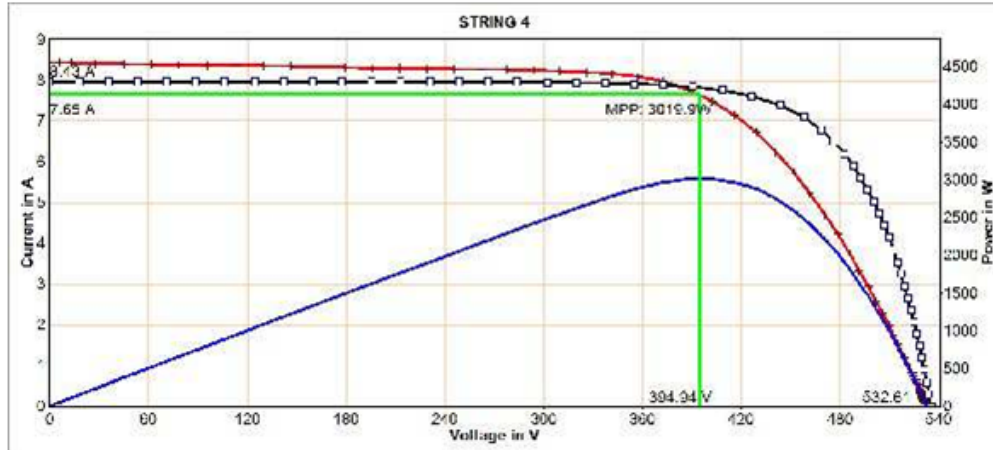
PVplant: 100kWp ΜΕΝΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 4 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:08:03

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: **Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)**

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>	
<b>Values at STC:</b>		<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3529,6 Wp</b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-8,1 %</b>
	$P_{pk\ max}$ :	3706,1 W	3920,0 W		
	$P_{pk\ min}$ :	3353,1 W	3840,0 W		
	$I_{pmax0}$ :	8,14 A	7,86 A	3,6 %	
	$V_{pmax0}$ :	433,5 V	488,0 V	-11,2 %	
	$I_{sc0}$ :	8,98 A	8,48 A	5,9 %	
	$V_{oc0}$ :	573,5 V	579,2 V	-1,0 %	
<b>Maximum values (actual):</b>		$P_{max}$ :	3019,9 W		
	$I_{pmax}$ :	7,65 A			
	$V_{pmax}$ :	394,9 V			
	$I_{sc}$ :	8,43 A			
	$V_{oc}$ :	532,6 V			
<b>Calculated values:</b>		$R_s$ :	10,4 Ohm	4,5 Ohm	131,9 %
	Losses by add. $R_s$ :	-393 W			
	$R_p$ :	4418 Ohm	4688 Ohm	-5,8 %	
	FF:	0,67	0,78	-13,9 %	
	NOCT:	38 °C			
<b>Conditions during measurement:</b>		Cell temperature $T_{mod}$ :	41,6 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	939 W/m <sup>2</sup>			
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	52,1 °C			

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτης\επιτήρησης\4.4.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

PV plant: 100kWp ΜΕΝΓΑΛΑΣ

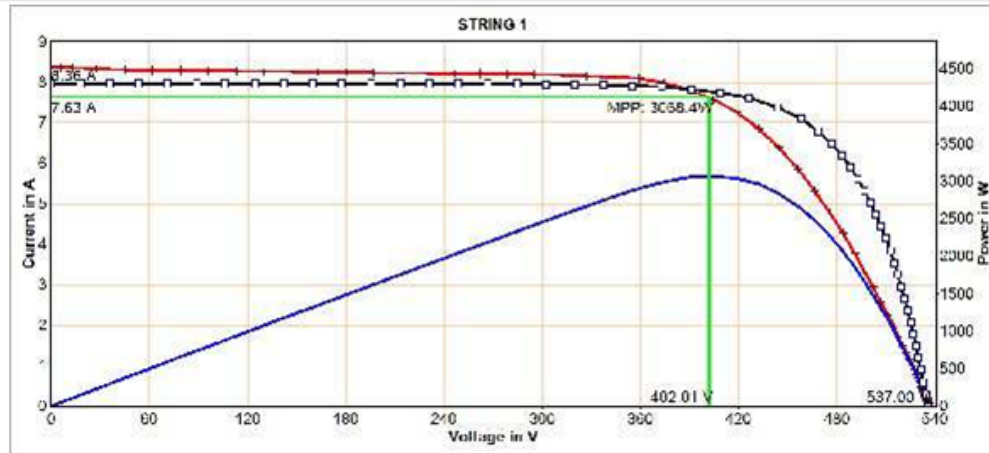
Plant part: INV 4 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:08:33

Description:



## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3584,3 Wp	3840,0 W	-6,7 %
	$P_{pk\ max}$ :	3763,5 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3405,1 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,13 A	7,86 A	3,4 %
	$V_{pmax0}$ :	440,9 V	488,0 V	-9,6 %
	$I_{sc0}$ :	8,91 A	8,48 A	5,0 %
	$V_{oc0}$ :	578,0 V	579,2 V	-0,2 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3068,4 W		
	$I_{pmax}$ :	7,63 A		
	$V_{pmax}$ :	402,0 V		
	$I_{sc}$ :	8,36 A		
	$V_{oc}$ :	537,0 V		
Calculated values:	$R_s$ :	9,3 Ohm	4,5 Ohm	107,2 %
	Losses by add. $R_s$ :	-319 W		
	$R_p$ :	4520 Ohm	4688 Ohm	-3,6 %
	FF:	0,68	0,78	-12,5 %
	NOCT:	38 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	41,5 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	939 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	51,2 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσοαρίηζμετρήσεις\5.1.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

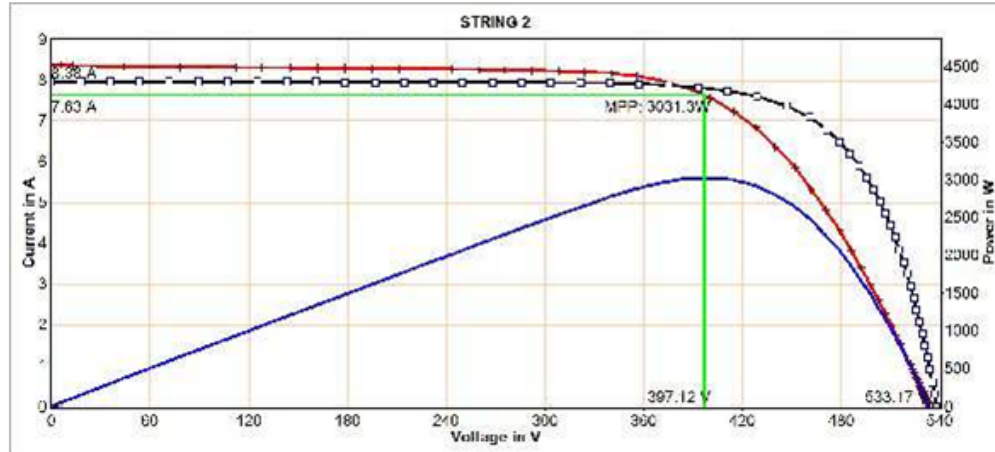
PV plant: 100kWp ΜΕΝΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 53Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:11:52

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
<b>Values at STC:</b>				
	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3518,2 Wp	3840,0 W	-8,4 %
	$P_{pk\ max}$ :	3694,1 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3342,3 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,13 A	7,86 A	3,5 %
	$V_{pmax0}$ :	432,6 V	488,0 V	-11,4 %
	$I_{sc0}$ :	8,93 A	8,48 A	5,3 %
	$V_{oc0}$ :	571,0 V	579,2 V	-1,4 %
<b>Maximum values (actual):</b>				
	$P_{max}$ :	3031,3 W		
	$I_{pmax}$ :	7,63 A		
	$V_{pmax}$ :	397,1 V		
	$I_{sc}$ :	8,38 A		
	$V_{oc}$ :	533,2 V		
<b>Calculated values:</b>				
	$R_s$ :	9,8 Ohm	4,5 Ohm	117,2 %
	Losses by add. $R_s$ :	-349 W		
	$R_p$ :	4530 Ohm	4688 Ohm	-3,4 %
	FF:	0,68	0,78	-13,1 %
	NOCT:	37 °C		
<b>Conditions during measurement:</b>				
	Cell temperature $T_{mod}$ :	40,4 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	939 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	50,9 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαριτηζμετρησεις\5.2.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

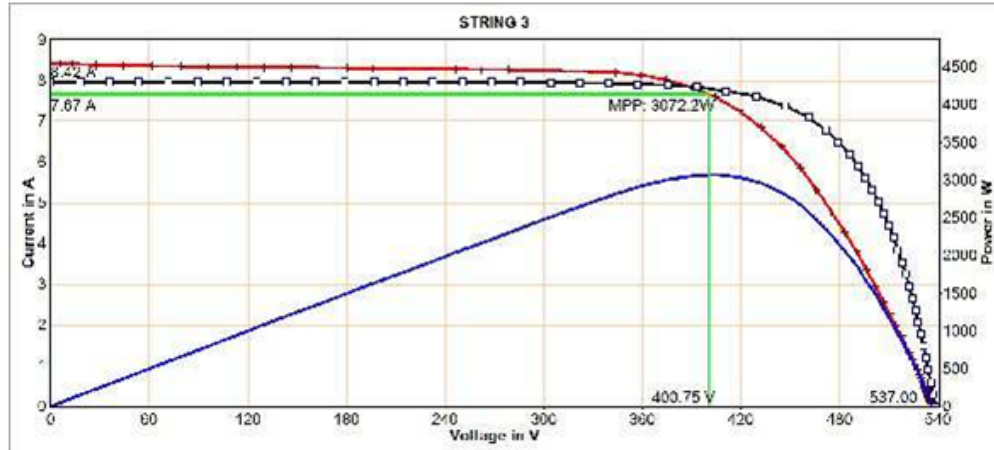
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 5 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:12:34

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3563,1 W <sub>p</sub>	3840,0 W	-7,2 %
	$P_{pk\ max}$ :	3741,3 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3384,9 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,16 A	7,86 A	3,9 %
	$V_{pmax0}$ :	436,4 V	488,0 V	-10,6 %
	$I_{sc0}$ :	8,96 A	8,48 A	5,7 %
	$V_{oc0}$ :	575,0 V	579,2 V	-0,7 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3072,2 W		
	$I_{pmax}$ :	7,67 A		
	$V_{pmax}$ :	400,8 V		
	$I_{sc}$ :	8,42 A		
	$V_{oc}$ :	537,0 V		
Calculated values:	$R_s$ :	9,7 Ohm	4,5 Ohm	115,0 %
	Losses by add. $R_s$ :	-345 W		
	$R_p$ :	4528 Ohm	4688 Ohm	-3,4 %
	FF:	0,68	0,78	-13,0 %
	NOCT:	37 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	40,3 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	939 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	50,7 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτης\μετρήσεις\5.3.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

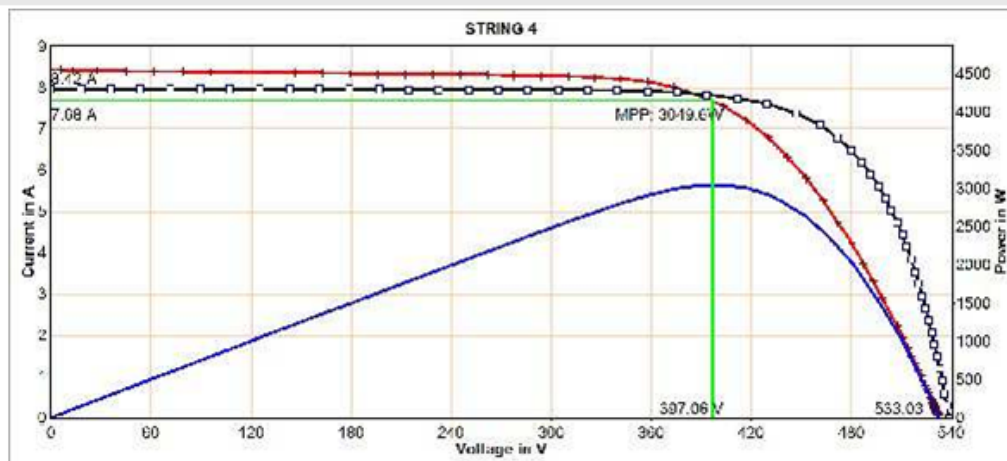
PV plant: 100kWp ΜΕΝΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 5 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:12:54

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>	
<b>Values at STC:</b>		<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3532,4 Wp</b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-8,0 %</b>
	$P_{pk\ max}$ :	3709,0 W	3920,0 W		
	$P_{pk\ min}$ :	3355,8 W	3840,0 W		
	$I_{pmax0}$ :	8,18 A	7,86 A	4,1 %	
	$V_{pmax0}$ :	431,7 V	488,0 V	-11,5 %	
	$I_{sc0}$ :	8,97 A	8,48 A	5,8 %	
	$V_{oc0}$ :	570,1 V	579,2 V	-1,6 %	
<b>Maximum values (actual):</b>		$P_{max}$ :	3049,6 W		
	$I_{pmax}$ :	7,68 A			
	$V_{pmax}$ :	397,1 V			
	$I_{sc}$ :	8,42 A			
	$V_{oc}$ :	533,0 V			
<b>Calculated values:</b>		$R_s$ :	9,6 Ohm	4,5 Ohm	113,7 %
	Losses by add. $R_s$ :	-342 W			
	$R_p$ :	4442 Ohm	4688 Ohm	-5,2 %	
	FF:	0,68	0,78	-13,0 %	
	NOCT:	37 °C			
<b>Conditions during measurement:</b>		Cell temperature $T_{mod}$ :	40,1 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	939 W/m <sup>2</sup>			
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	50,7 °C			

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ\Μεσαριτης\επιτοησεις\5.4.SU1

PVPM Serial No.: PVPMM000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

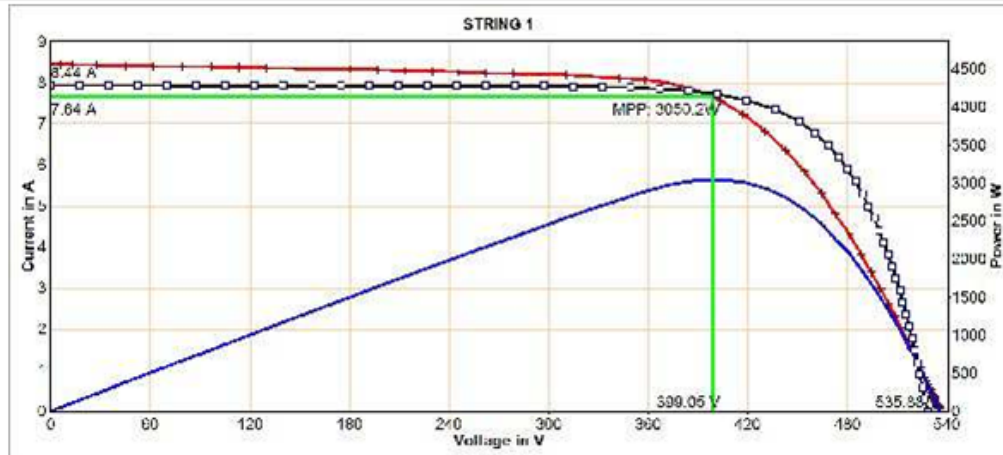
PVplant: 100KWp ΜΕΝΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 5 3Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 14:13:14

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: **Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)**

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3651,8 W<sub>p</sub></b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-4,9 %</b>
	$P_{pk\ max}$ :	3834,4 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3469,2 W	3840,0 W	
	$I_{p\ max0}$ :	8,17 A	7,86 A	4,0 %
	$V_{p\ max0}$ :	446,9 V	488,0 V	-8,4 %
	$I_{sc0}$ :	9,03 A	8,48 A	6,5 %
	$V_{oc0}$ :	585,7 V	579,2 V	1,1 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3050,2 W		
	$I_{p\ max}$ :	7,64 A		
	$V_{p\ max}$ :	399,1 V		
	$I_{sc}$ :	8,44 A		
	$V_{oc}$ :	535,9 V		
Calculated values:	$R_s$ :	10,3 Ohm	4,5 Ohm	130,0 %
	Losses by add. $R_s$ :	-390 W		
	$R_p$ :	4364 Ohm	4688 Ohm	-6,9 %
	FF:	0,67	0,78	-13,7 %
	NOCT:	41 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	44,8 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	935 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	53,4 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαριτηςμετρησεις16.1.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

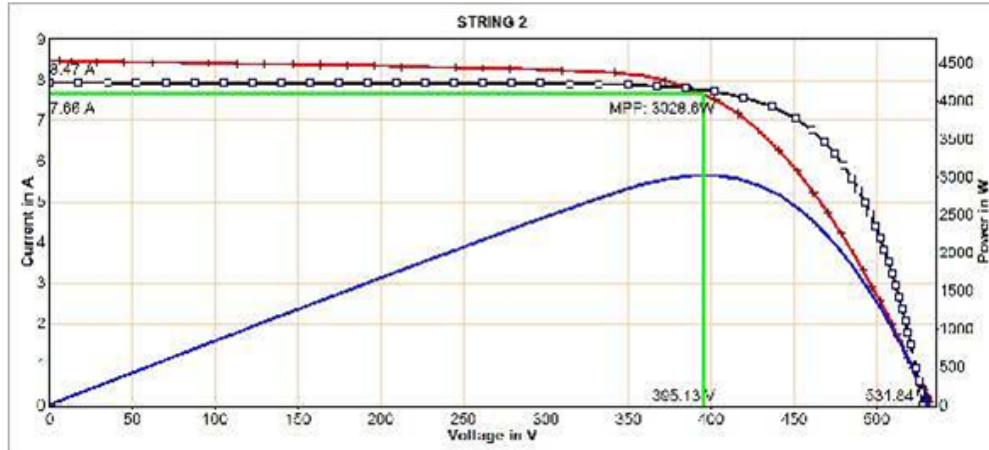
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 6 1Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 13:30:40

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3626,2 Wp	3840,0 W	-5,6 %
	$P_{pk\ max}$ :	3807,5 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3444,9 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,20 A	7,86 A	4,3 %
	$V_{pmax0}$ :	442,5 V	488,0 V	-9,3 %
	$I_{sc0}$ :	9,06 A	8,48 A	6,8 %
	$V_{oc0}$ :	581,3 V	579,2 V	0,4 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3028,6 W		
	$I_{pmax}$ :	7,66 A		
	$V_{pmax}$ :	395,1 V		
	$I_{sc}$ :	8,47 A		
	$V_{oc}$ :	531,8 V		
Calculated values:	$R_s$ :	10,5 Ohm	4,5 Ohm	132,5 %
	Losses by add. $R_s$ :	-400 W		
	$R_p$ :	4319 Ohm	4688 Ohm	-7,9 %
	FF:	0,67	0,78	-13,9 %
	NOCT:	41 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	44,8 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	935 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	53,5 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ\Μεσαριτης\μετρησεις\6.2.SUI

PVPM Serial No.: PVPM000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

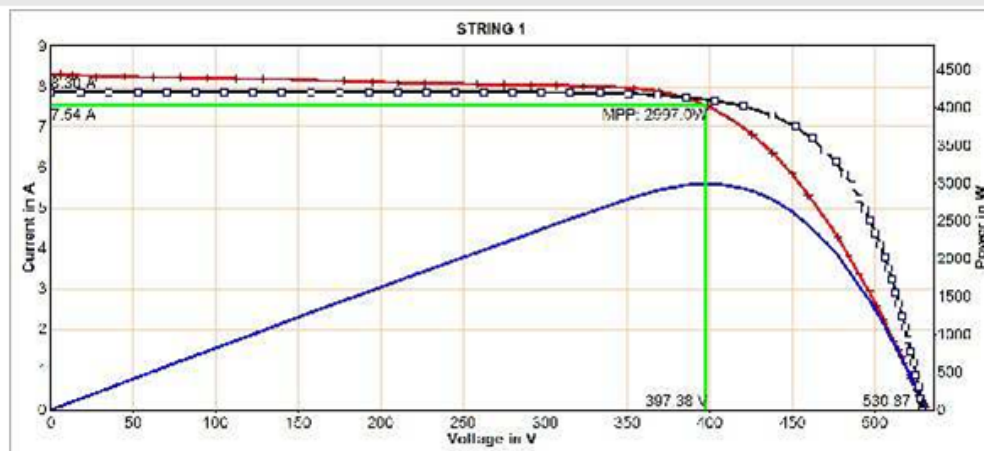
PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 6 1Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 13:29:40

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3597,4 Wp	3840,0 W	-6,3 %
	$P_{pk\ max}$ :	3777,3 W	3920,0 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3417,6 W	3840,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,13 A	7,86 A	3,4 %
	$V_{pmax0}$ :	442,7 V	488,0 V	-9,3 %
	$I_{sc0}$ :	8,94 A	8,48 A	5,4 %
	$V_{oc0}$ :	578,6 V	579,2 V	-0,1 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	2997,0 W		
	$I_{pmax}$ :	7,54 A		
	$V_{pmax}$ :	397,4 V		
	$I_{sc}$ :	8,30 A		
	$V_{oc}$ :	530,9 V		
Calculated values:	$R_s$ :	9,6 Ohm	4,5 Ohm	114,1 %
	Losses by add. $R_s$ :	-339 W		
	$R_p$ :	4480 Ohm	4688 Ohm	-4,4 %
	FF:	0,68	0,78	-12,9 %
	NOCT:	41 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	44,0 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	928 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	53,1 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαριτηζημερησεις\7.1.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

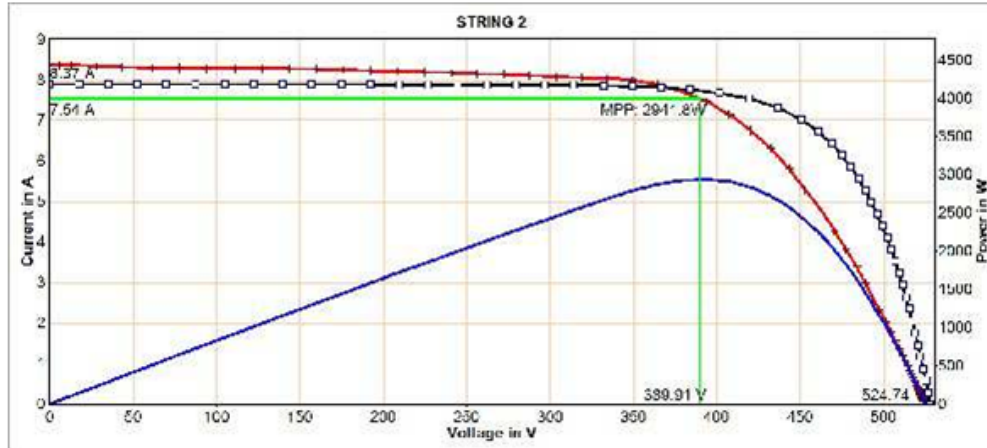
PV plant: 100kWp ΜΕΝΙΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 7 1Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 13:24:59

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: Powertec Plus 240/6PE (Mage Solar AG)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measur.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>	
<b>Values at STC:</b>		<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	<b>3538,7 Wp</b>	<b>3840,0 W</b>	<b>-7,8 %</b>
	$P_{pk\ max}$ :	3715,7 W	3920,0 W		
	$P_{pk\ min}$ :	3361,8 W	3840,0 W		
	$I_{pmax0}$ :	8,11 A	7,86 A	3,2 %	
	$V_{pmax0}$ :	436,3 V	488,0 V	-10,6 %	
	$I_{sc0}$ :	9,00 A	8,48 A	6,1 %	
	$V_{oc0}$ :	573,5 V	579,2 V	-1,0 %	
<b>Maximum values (actual):</b>		$P_{max}$ :	2941,8 W		
	$I_{pmax}$ :	7,54 A			
	$V_{pmax}$ :	389,9 V			
	$I_{sc}$ :	8,37 A			
	$V_{oc}$ :	524,7 V			
<b>Calculated values:</b>		$R_s$ :	10,8 Ohm	4,5 Ohm	140,3 %
	Losses by add. $R_s$ :	-415 W			
	$R_p$ :	4221 Ohm	4688 Ohm	-10,0 %	
	FF:	0,67	0,78	-14,2 %	
	NOCT:	41 °C			
<b>Conditions during measurement:</b>		Cell temperature $T_{mod}$ :	44,6 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	930 W/m <sup>2</sup>			
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	52,6 °C			

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτηζυμειρήσεις\7.2.SUI

PVPM Serial No.: PVP1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

PV plant: 100kWp ΜΕΛΙΓΑΛΑΣ

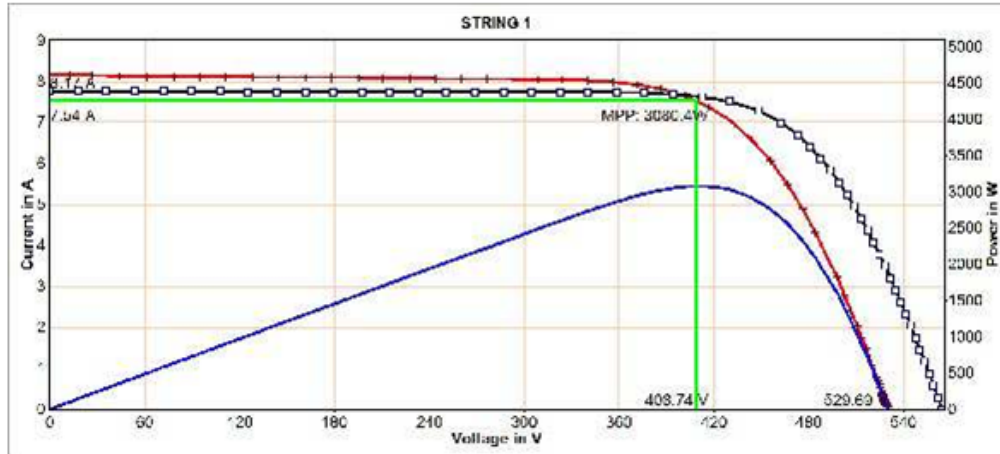
Plant part: INV 71Φ MAGE

Date of measurement: 30.06.2014 13:26:13

Description:



## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: HIS-M 235-MG (Hyundai Heavy Industries...)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3588,0 Wp	3760,0 W	-4,6 %
	$P_{pk\ max}$ :	3767,4 W	3872,8 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3408,6 W	3760,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	8,07 A	7,80 A	3,4 %
	$V_{pmax0}$ :	444,8 V	484,8 V	-8,3 %
	$I_{sc0}$ :	8,74 A	8,30 A	5,3 %
	$V_{oc0}$ :	562,9 V	598,4 V	-5,9 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3080,4 W		
	$I_{pmax}$ :	7,54 A		
	$V_{pmax}$ :	408,7 V		
	$I_{sc}$ :	8,17 A		
	$V_{oc}$ :	529,7 V		
Calculated values:	$R_s$ :	7,2 Ohm	6,0 Ohm	20,0 %
	Losses by add. $R_s$ :	-79 W		
	$R_p$ :	4250 Ohm	3967 Ohm	7,1 %
	FF:	0,71	0,76	-6,5 %
	NOCT:	41 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	44,2 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	934 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	52,4 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑΜεσαρίτηζ\μετρήσεις\8.1.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

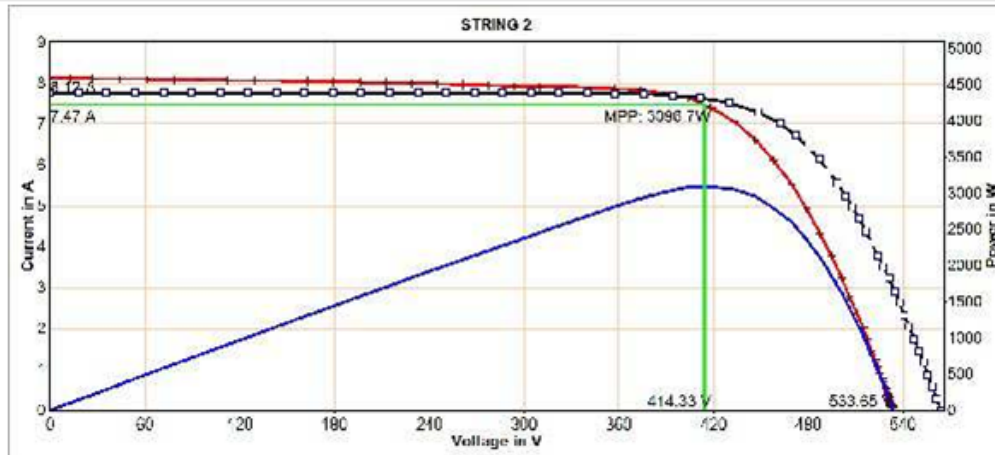
PV plant: 100kWp ΜΕΝΓΑΛΑΣ

Plant part: INV 8 1Φ HYUNDA

Date of measurement: 30.06.2014 13:36:32

Description:

## Result of PVPM Power Measurement



### Measurement Results

Module type: HIS-M 235-MG (Hyundai Heavy Industries...)

In series: 16 - Parallel: 1

		<u>Measurm.:</u>	<u>Nominal:</u>	<u>Deviation:</u>
Values at STC:	<b>Peak power <math>P_{pk}</math>:</b>	3612,5 W <sub>pk</sub>	3760,0 W	-3,9 %
	$P_{pk\ max}$ :	3793,1 W	3872,8 W	
	$P_{pk\ min}$ :	3431,8 W	3760,0 W	
	$I_{pmax0}$ :	7,99 A	7,80 A	2,5 %
	$V_{pmax0}$ :	452,1 V	484,8 V	-6,8 %
	$I_{sc0}$ :	8,68 A	8,30 A	4,6 %
	$V_{oc0}$ :	568,1 V	598,4 V	-5,1 %
Maximum values (actual):	$P_{max}$ :	3096,7 W		
	$I_{pmax}$ :	7,47 A		
	$V_{pmax}$ :	414,3 V		
	$I_{sc}$ :	8,12 A		
	$V_{oc}$ :	533,7 V		
Calculated values:	$R_s$ :	7,2 Ohm	6,0 Ohm	19,1 %
	Losses by add. $R_s$ :	-74 W		
	$R_p$ :	4523 Ohm	3967 Ohm	14,0 %
	FF:	0,71	0,76	-6,1 %
	NOCT:	41 °C		
Conditions during measurement:	Cell temperature $T_{mod}$ :	44,5 °C		
	Irradiance $E_{eff}$ :	935 W/m <sup>2</sup>		
	Temperature reference cell $T_{ref}$ :	52,7 °C		

### Additional Informations

File: C:\Users\Yanni\Desktop\ΦΩΤΟΒΟΛΤΑ\ΚΑΜ εσαφιης\μετρησεις\8.2.SUI

PVPM Serial No.: PVPM1000C06011

Sensor: SOZ-03 #7971

Customer: ΜΕΣΣΑΡΙΤΗΣ

PV plant: 100kWp ΜΕΝΤΑΛΑΣ

Plant part: INV 8 1Φ HYUNDA

Date of measurement: 30.06.2014 13:37:52

Description:

## Βιβλιογραφία

- ❖ «Φωτοβολταϊκά συστήματα από την Θεωρία στην Πράξη»  
*Κωνσταντίνος Θ. Δέρβος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. , Αθήνα 2013*
- ❖ «Ατμοσφαιρική διάβρωση μετάλλων»  
*Παναγιώτα Βασιλείου, Εκδόσεις Θωμαΐδειου, Αθήνα 2000*
- ❖ «Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και Φ/Β διατάξεις»  
*Κωνσταντίνος Θ. Δέρβος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. , Αθήνα 2013*
- ❖ «Principle of corrosion engineering and corrosion control»  
*Zaki Ahmad, Elsevier Science & Technology Books, 2006*
- ❖ «Oxygen Vacancies in ZnO»  
*A. Janotti and C. G. Van de Walle, Appl. Phys. Lett. 87, 122102 (2005)*
- ❖ Άρθρο «Selective MOCVD growth of ZnO nanotips»  
*Muthukumar, S. Haifeng Sheng, Jian Zhong, Zheng Zhang, Emanetoglu, N.W., Yicheng Lu; Nanotechnology, IEEE, Volume 2, Issue 1, Mar 2003*
- ❖ «Ηλεκτρολυτική επιψευδαργύρωση με παλμικό ρεύμα»  
*Διπλωματική εργασία Παναγιώτη Νικολάου, Αθήνα 2002*
- ❖ «Silicon: the semiconductor material, in Silicon: evolution and future of a technology»  
*W.Heywang, K.H.Zaininger, P.Siffert, E.F.Krimmel eds., Springer Verlag, 2004*
- ❖ «Προστασία από τη διάβρωση γαλβανισμένων πυλώνων της ΔΕΗ με χρήση οργανικών επιστρωμάτων»  
*Διπλωματική εργασία, Μάνη Σοφία, Αθήνα 1997*
- ❖ Τεύχος «Physics Today», volume 58, No. 8, p. 33, August 2005
- ❖ «Theory of the electrical and photovoltaic properties of polycrystalline silicon»  
*Journal of Applied Physics 51 Ghosh, Amal K., Fishman, Charles & Feng, Tom*
- ❖ «Functional Polymer Films»  
*Eds. R. Advincula and W. Knoll – Wiley, 2011*
- ❖ <http://el.wikibooks.org/>

- ❖ <http://www.energypress.gr/>
- ❖ <http://www.sma-hellas.com/>
- ❖ <http://www.michanikos.gr/>
- ❖ <http://www.corrosionist.com>
- ❖ [http://www.hotdipgalvanizing.com/hot\\_dip\\_galvanizing\\_process/index.html](http://www.hotdipgalvanizing.com/hot_dip_galvanizing_process/index.html)