

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΓΩΓΩΝ AMPRACT™

### ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΠΑΡΑΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕ ΑΓΩΓΟΥΣ Cu-Al

#### 1. Γενικά

Οι σύνδεσμοι αποτελούν το ασθενές σημείο στα συστήματα διανομής. Πολλοί τύποι συνδέσμων παρουσιάζουν σημαντική αλλοίωση των χαρακτηριστικών τους με την πάροδο του χρόνου. Η διάβρωση αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα. Η σύνδεση διαφορετικών μετάλλων, τυπικά χαλκός – αλουμίνιο, επιτείνει σημαντικά τα προβλήματα διαβρώσεως.

Η αντίσταση του συνδέσμου είναι η σημαντικότερη παράμετρος που αυξάνει με τον χρόνο και οι απώλειες ενέργειας που προκύπτουν συσσωρεύουν κόσμη πολλαπλάσια της αξίας του συνδέσμου πολύ πριν την πιθανή αστοχία του. Στην μελέτη που περιγράφεται πιο κάτω έγιναν μετρήσεις της μεταβολής της αντίστασης σε τρεις τύπους συνδέσμων με αγωγούς χαλκού και αλουμινίου σε συνθήκες πεδίου και κάτω από δύσκολες περιβαλλοντικά συνθήκες.

#### 2. Δοκιμές

##### 2.1 Περιοχή δοκιμών

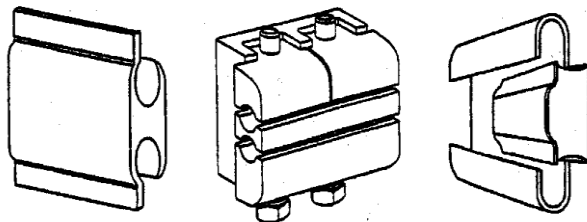
Οι δοκιμές έγιναν στην Φλώριδα των ΗΠΑ στην περιοχή Daytona Beach. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από δύσκολες περιβαλλοντικά συνθήκες και συγκεκριμένα:

- Υψηλή υγρασία. Η μέση ετήσια τιμή σχετικής υγρασίας είναι 60%. Η τιμή αυτή έχει μεγάλες διακυμάνσεις όλους τους μήνες του έτους τυπικά από 30% έως 110% (βλ. συνημμένο πίνακα).
- Υψηλό βαθμό αποθέσεως αλάτων. Τυπική τιμή μετρημένη κατά ISO είναι 226 mg ανά m<sup>2</sup> και ημέρα.
- Μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας που το καλοκαίρι ξεπερνούν τους 40°C και τον χειμώνα κυμαίνονται γύρω στους 0°C.

##### 2.2 Δοκιμές

Δοκιμάστηκαν τρεις τύποι συνδέσμων

- Συμπιέσεως
- Κοχλιωτοί
- Τύπου Ampract



Εγκαταστάθηκαν 50 σύνδεσμοι κάθε είδους σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών, σε αγωγούς 70mm<sup>2</sup> από χαλκό στο ένα άκρο του συνδέσμου και αλουμίνιο στο άλλο άκρο. Έγιναν αυτόματα περιοδικές μετρήσεις της αντίστασης με ακρίβεια 2μΩ. Η μελέτη άρχισε το 1995 και διήρκεσε έως το 2000.

Σαν αρχική τιμή της αντίστασης θεωρήθηκε η μέση τιμή των μετρήσεων κατά τις πρώτες 100 ημέρες του πειράματος. Σαν «αστοχία» ενός συνδέσμου θεωρήθηκε η

αύξηση της αντίστασης κατά 1000 $\mu\Omega$  σε σχέση με την αρχική τιμή. Ταυτόχρονα έγιναν μετρήσεις του βαθμού διαβρωτικότητας του περιβάλλοντος με δοκίμια διαφόρων μετάλλων.

### **2.3 Αποτελέσματα**

Οι καμπύλες μεταβολής της αντίστασης επαφής για τους τρεις τύπους συνδέσμων της δοκιμής φαίνονται πιο κάτω. Φαίνεται η σχετικά απότομη αύξηση της αντίστασης των συνδέσμων πριν την αστοχία (αύξηση  $R > 1000\mu\Omega$ ).

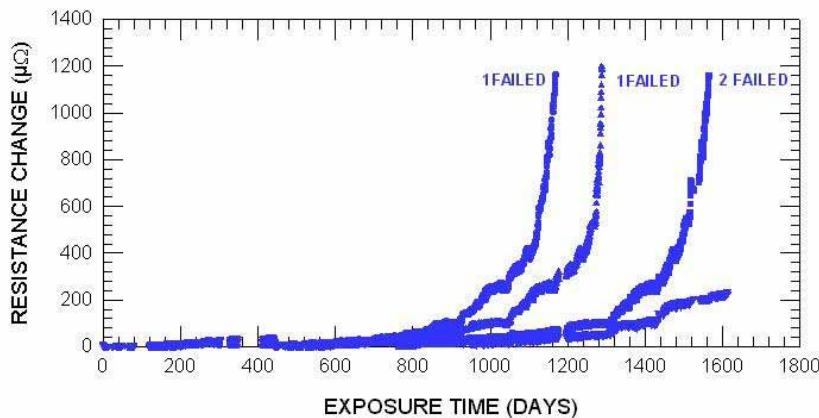
Οι πρώτοι σύνδεσμοι συμπίεσεως αστόχησαν μετά από 600 ημέρες ενώ μετά από 1200 ημέρες είχαν αστοχήσει και οι 50 σύνδεσμοι της δοκιμής.

Στην περίπτωση των κοχλιωτών συνδέσμων οι πρώτες αστοχίες μετά από 650 ημέρες και στις 1600 ημέρες είχε αστοχήσει το 94% των συνδέσμων.

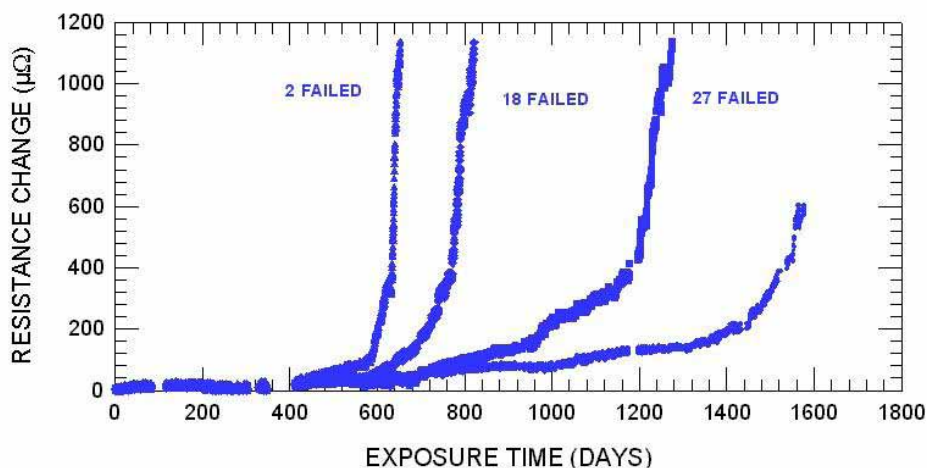
Αντίθετα η πρώτη αστοχία συνδέσμου AMPACT συνέβη μετά από 1000 ημέρες και μετά από 1600 ημέρες είχε αστοχήσει μόλις το 8%.

Να υπενθυμίσουμε ότι το κριτήριο «αστοχίας» της μελέτης δεν ήταν η καταστροφή του συνδέσμου αλλά η αύξηση της αντίστασης άνω των 1000 $\mu\Omega$  από την αρχική τιμή. Ο σύνδεσμος θα μπορούσε να παραμείνει σε λειτουργία αλλά με συνεχώς αυξανόμενες απώλειες. Οι σύνδεσμοι που αστοχούσαν κατά την διάρκεια της δοκιμής αφαιρούνταν από την γραμμή η οποία γεφυρωνόταν.

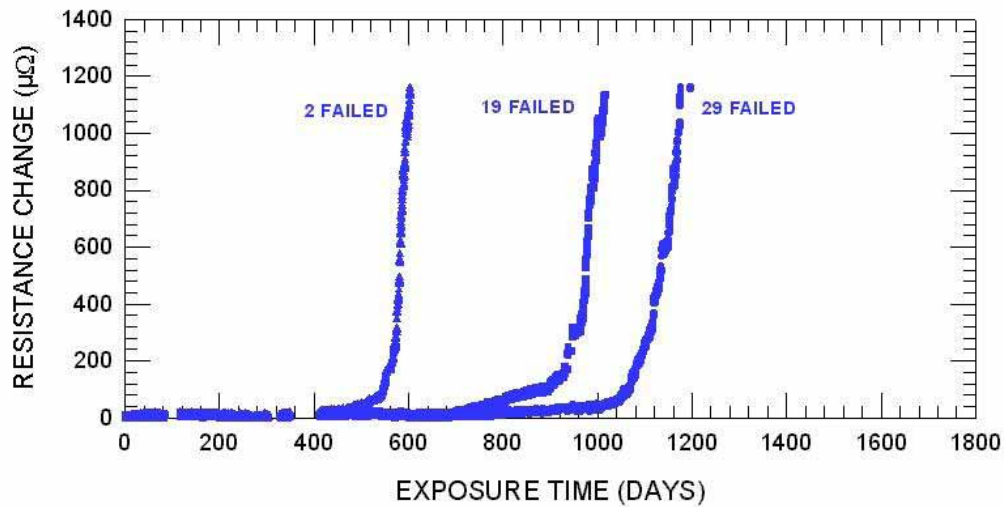
#### **α. Σύνδεσμοι τύπου AMPACT**



#### **β. Σύνδεσμοι κοχλιωτοί**



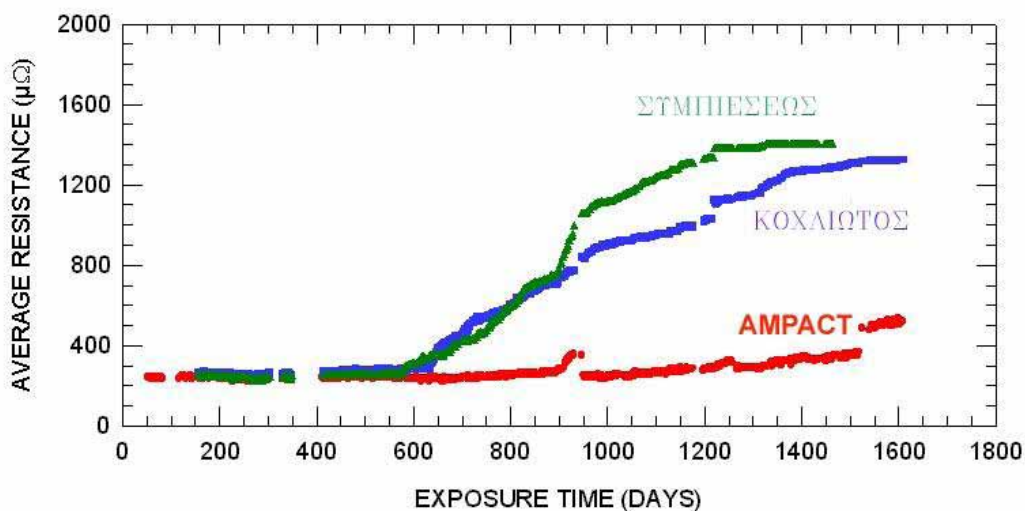
**γ. Σύνδεσμοι συμπίεσης**



Ο ρυθμός αστοχίας των συνδέσμων συνοψίζεται στον πιο κάτω πίνακα

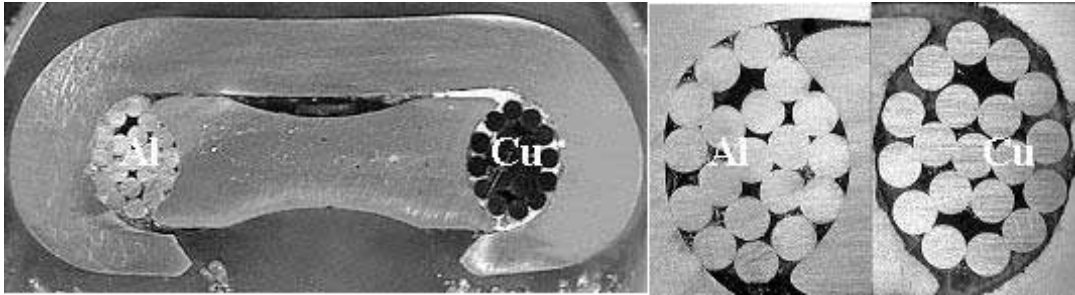
Ημέρες δοκιμής	AMPACT	Κοχλιωτός σύνδεσμος	Σύνδεσμος συμπίεσης
300	0	0	0
600	0	2	2
900	1	18	19
1200	1	27	29
1600	2	-	-
<b>Σύνολο αστοχιών</b>	<b>4 στους 50</b>	<b>47 στους 50</b>	<b>50 στους 50</b>

Η μεταβολή της μέσης αντίστασης των συνδέσμων σε συνάρτηση με τον χρόνο φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα:

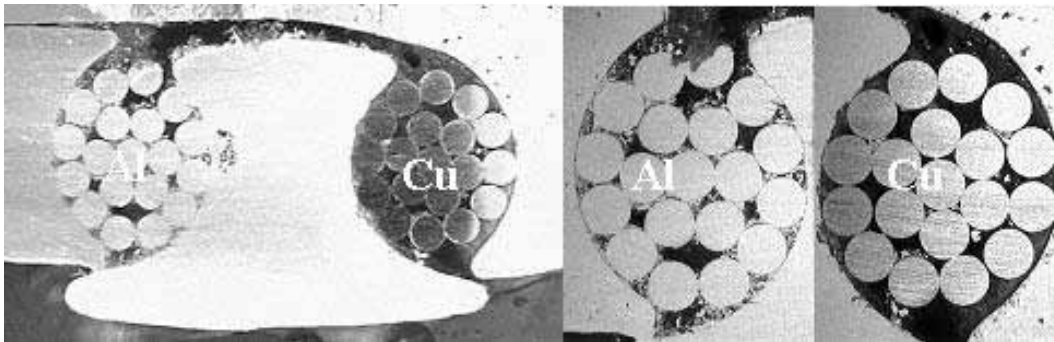


Τομές συνδέσμων και των τριών τύπων που αστόχησαν φαίνονται πιο κάτω :

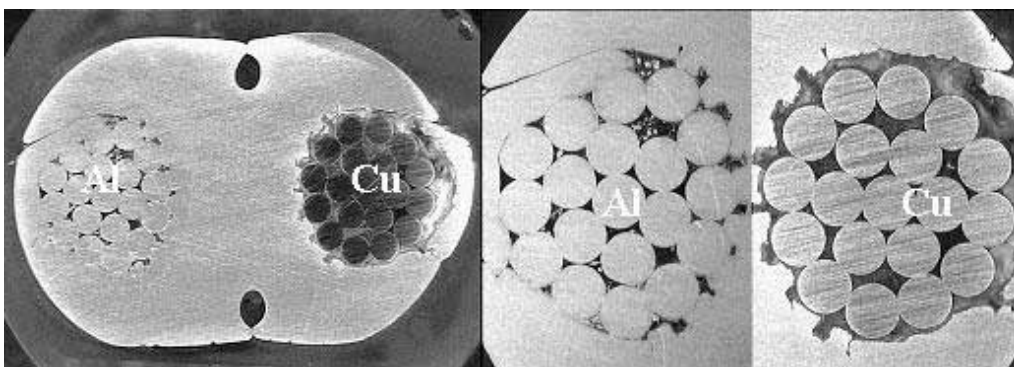
**α. Σύνδεσμος τύπου AMPACT**



**β. Σύνδεσμος κοχλιωτός**



**γ. Σύνδεσμος συμπίεσεως**



## 2.4 Συμπεράσματα

Διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στην συμπεριφορά των τριών τύπων συνδέσμων. Οι πρώτες αστοχίες σε συνδέσμους συμπίεσεως και κοχλιωτούς εμφανίστηκαν στις 600 ημέρες ενώ ο πρώτος σύνδεσμος τύπου AMPACT αστόχησε μετά από 1000 ημέρες. Μετά από 1700 ημέρες (4.5 χρόνια) αστόχησαν και οι 50 σύνδεσμοι συμπίεσεως, 47 σύνδεσμοι κοχλιωτοί και μόνο 4 σύνδεσμοι AMPACT.

Οι διαφορές στην μεταβολή της αντίστασης των συνδέσμων με τον χρόνο μπορεί να ερμηνευθεί με διάφορους μηχανισμούς :

- Ελάττωση της μηχανικής επαφής λόγω απώλειας μετάλλου στην ζώνη επαφής κυρίως του αγωγού χαλκού, όπως φαίνεται στις φωτογραφίες τομής των συνδέσμων. Ο σύνδεσμος τύπου AMPACT χάρις στο ελατηριωτό έλασμα μορφής "C" διατηρεί καλή σύσφιξη, σταθερή επαφή και ομοιόμορφη κατανομή δυνάμεων με την πάροδο του χρόνου. Οι άλλοι τύποι συνδέσμων δεν έχουν αυτό το χαρακτηριστικό αποθήκευσης ελαστικής ενέργειας.
- Συσσώρευση προϊόντων διάβρωσης στον χώρο μεταξύ αγωγού και σώματος συνδέσμου που τείνουν να αποκολλήσουν τον αγωγό από τον σύνδεσμο. Το φαινόμενο είναι εντονότερο στην περίπτωση των συνδέσμων συμπίεσεως.
- Η διαφορική θερμική διαστολή του χάλκινου αγωγού και του αλουμινίου συνδέσμου έχει σαν αποτέλεσμα την διακοπή των αγωγίμων γεφυρών και την συσσώρευση στρώματος μονωτικών προϊόντων διάβρωσης στην επιφάνεια επαφής. Ο ελατηριωτός σχεδιασμός του AMPACT περιορίζει δραστικά το φαινόμενο.

Η αύξηση της αντίστασης επαφής έχει σημαντικές οικονομικές συνέπειες στο κόστος διανομής όπως υπολογίζεται πιο κάτω.

## 3. Υπολογισμός κόστους απωλειών ενέργειας.

Από το τελευταίο διάγραμμα της παραγράφου 2.3 μπορούμε να υπολογίσουμε την μέση αύξηση της αντίστασης επαφής ανά έτος για κάθε τύπο συνδέσμου.

ΤΥΠΟΣ	$\frac{\Delta R}{\Delta t} \frac{\mu\Omega}{\text{ετος}}$
AMPACT	25
Κοχλιωτός	200
Συμπίεσεως	350

Η απώλειες ισχύος σε W υπολογίζονται :

$$\left( \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R \cdot 10^{-6}}{\Delta t} \cdot t \right) \cdot i^2 \cdot f$$

όπου :

$\frac{\Delta R}{\Delta t}$  η μέση τιμή της αύξησης της αντίστασης επαφής σε  $\mu\Omega/\text{ετος}$

t : ο χρόνος σε έτη Ο συντελεστής  $\frac{1}{2}$  για την μέση τιμή αντίστασης έτους

i : η ένταση του ρεύματος σε A

f : ο συντελεστής φορτίου

Η απώλειες ενέργειας σε kWh προκύπτουν :

$$\left( \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R \cdot 10^{-6}}{\Delta t} \cdot t \right) \cdot i^2 \cdot f \cdot t \cdot 8760 \cdot \frac{1}{1000}$$

όπου :

8760 ώρες/έτος

t : ο χρόνος σε έτη

1/1000 για μετατροπή σε kW

Αν το κόστος της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι G €/kWh τότε το συνολικό κόστος από απώλειες ενέργειας σαν συνάρτηση του χρόνου προκύπτει :

$$\left( \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R \cdot 10^{-6}}{\Delta t} \right) \cdot i^2 \cdot f \cdot 8760 \cdot \frac{1}{1000} \cdot t^2 \cdot G =$$

$$4.38 \cdot \left( \frac{\Delta R \cdot 10^{-6}}{\Delta t} \right) \cdot i^2 \cdot f \cdot G \cdot t^2$$

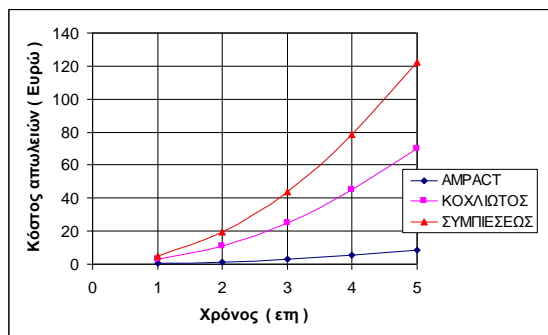
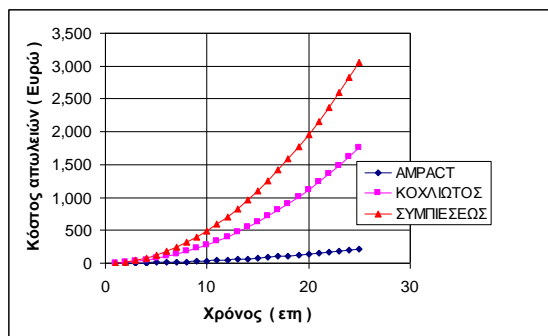
Για :

**i=400A**

**f=50%**

**G=0.05€/kWh (ελάχιστη δυνατή τιμή)**

προκύπτουν οι πιο κάτω καμπύλες για τους τρεις τύπους συνδέσμων :



#### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

- Ο σύνδεσμος AMPACT είναι κατάλληλος για συνδέσεις αγωγών από ανόμοια υλικά (ACRS – χαλκός) ακόμη και σε συνθήκες έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος.
- Η αντίσταση επαφής του συνδέσμου AMPACT παραμένει με την πάροδο του χρόνου κατά πολύ χαμηλότερη από άλλους τύπους συνδέσμων.
- Το κόστος των επιπλέον απωλειών ενέργειας σε σύγκριση με τον σύνδεσμο AMPACT υπερβαίνει το κόστος του συνδέσμου μετά από 2-3 χρόνια.