

## بحث السيجرية رقم (A3-109)

**Development of requirements for testing and verification of  
RTV-coated substation support insulators for AC application**

**تطوير متطلبات الاختبارات والتحقق لعازلات التثبيت المغطاة بالمطاط السليكوني (RTV)  
في تطبيقات التيار المتردد بمحطات المحولات  
"بحث من السويد"**

**مقدم من اللجنة A3**

**مهندس/ مجدى محمد بسيونى**

**رئيس قطاع التصميمات والمواصفات**

**"مقرر اللجنة"**

## ملخص

تتأثر محطات المحولات التي تقع على الساحل الغربي السويدي بدرجة التلوث الملحي العالية الناتجة عن البحر ولذلك كان يتم تجهيز محطات المحولات القريبة من البحر بأنظمة آلية لرش المياه للغسيل تحت الجهد لعازلات التثبيت ولعازلات المهمات المصنعة من الخزف. وحديثاً عند انشاء محطات محولات جديدة او احلال المحطات التي تم إنشاؤها خلال السبعينات "بعد عام 1970" تم تغيير العازلات الخزفية بأخرى حديثة من نوع المطاط السليكوني وهو ما سمح بالإستغناء عن أنظمة الغسيل الآلى المكلفة واصبحت العازلات المركبة (Composite Insulators) بديل قياسى لعازلات البورسلين.

## تابع : الملخص

ويرجع السبب الرئيسى فى استخدام العازلات المركبة الى تحسين الأمان للأشخاص وكمثال لذلك عند حدوث إنفجار لعازل مركب ذو قلب مجوف من المتوقع أن يتسبب فى حدوث خسائر أقل للمنطقة المحيطة مقارنة مقارنة بالعازل الخزفـى.

كما أن العازلات المركبة لها أيضاً أداء ممتاز للتلوث بالنسبة للوميض السطحى نتيجة لخصائص "عدم التألف" او طرد الماء التي يتميز بها سطح حاويتها المصنعة من المطاط السليكونى وهو ما جعل العازلات المركبة مناسبة لبعض تطبيقات المشروعات الموجودة على الساحل الغربى السويدى حيث يتواجد التلوث الملحى البحرى المتراكم على أسطح العازلات التي تتسبب فى حدوث الوميض السطحى. **ولكن لم تفضل الشركة السويدية استخدام عازلات مركبة لعازلات التثبيت الخاصة بالقضبان وأيضاً لسكاكين الأرضى وذلك لاعتبارات ميكانيكية وبدلاً من ذلك يمكن وضع طلاء المطاط السليكونى RTV على سطح العازلات الخزفية لتحسين اداء التلوث.**

## الهدف من البحث

على الرغم من أن مفهوم استخدام RTV لم يعد جديدًا وتم ذكره في المواصفة القياسية العالمية {2} IEC 60815-1 إلا أنه لا يوجد مواصفة قياسية عالمية IEC لتحديد خصائصه ومتطلبات اختبارها.

وتهدف هذه الورقة إلى تحديد منظومة الاختبار وتطبيقها عملياً وذلك لاختيار أفضل طلاءات (RTV) من بين المنتجات المتاحة تجارياً. ويشتمل برنامج الاختبارات على:-

**اختبارات قصيرة المدى** تتم على عينات المادة (الواح مطلية بمادة RTV) حيث أمكن التحقق من أداء منتجات الطلاء التي تم اختيارها مبدئياً "على المدى القصير" من خلال اختبار تحديد درجة الالتصاق واختبار الوميض السطحي للسطح الملوث صناعياً "لمدة 160 ساعة".

**اختبارات طويلة المدى** تتم على نماذج لعازلات خزفية جهد 145 ك.ف مطلية بمادة (RTV) ذات شكل مماثل للعازلات المستخدمة في الشركة السويدية حيث أمكن التحقق من أداء العازلات على المدى الطويل من خلال اختبار التتبع والتآكل للعازل الملوث بالضباب الملحي "لمدة 1000 ساعة".

**وفيما يلي شرح تفصيلي للاختبارات المشار إليها:-**

## اولاً: الأختبارات قصيرة المدى "وتشمل اختبار الالتصاق و اختبار خصائص السطح"

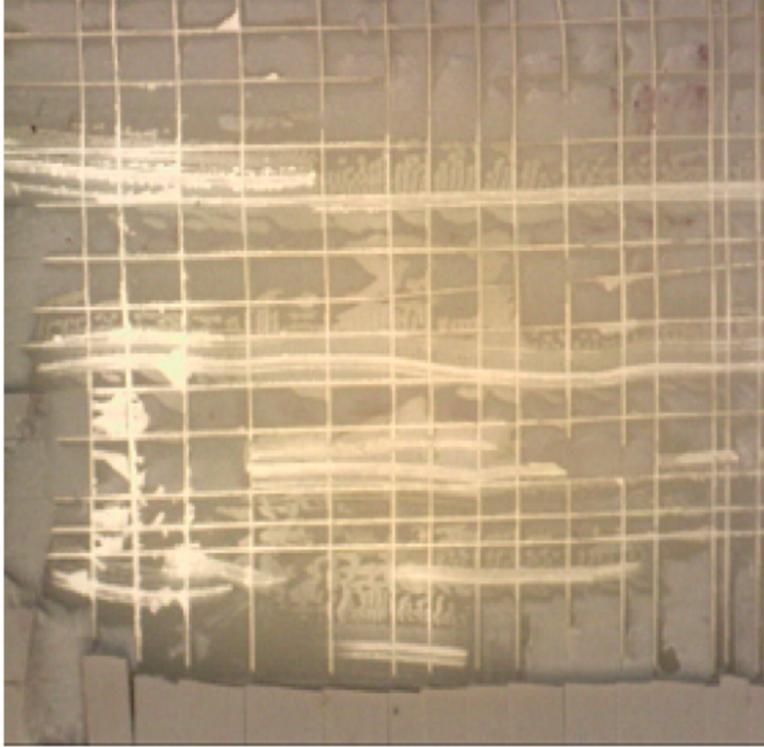
### تحديد عينات الاختبارات قصيرة المدى

تم تحديد واختيار عدد (7) عينات من منتجات متنوعة لطلاء (RTV)، وذلك لإجراء اختبارات المدى القصير على الواح زجاجية 250x100 مم وقد تم دهان الطلاء بالفرشاة لتصل إلى السمك الموصى به من قبل الصانع (0.4 - 0,6mm) وتم قياس سمك الطلاء بواسطة مؤشر مدرج.

وتم تطبيق الاختبارات لكل منتج على عدد (5) الواح زجاج طبقاً لتعليمات المصنع وذلك بهدف "تقييم إحدى الخصائص المهمة التي يجب تقييمها لطلاء RTV وهو درجة الالتصاق بين سطح الخزف والطلاء بالإضافة إلى تقييم صفة مهمة أخرى يتميز بها سطح الطلاء وهي ظاهرة طرد أو عدم التألف مع الماء من خلال اختبار الوميض السطحي للسطح الملوث صناعياً."

## برنامج الاختبار القصيرة المدى

### 1- اختبار الالتصاق:



شكل (1) مثال لجزء مستعرض بعد كشط الطلاء

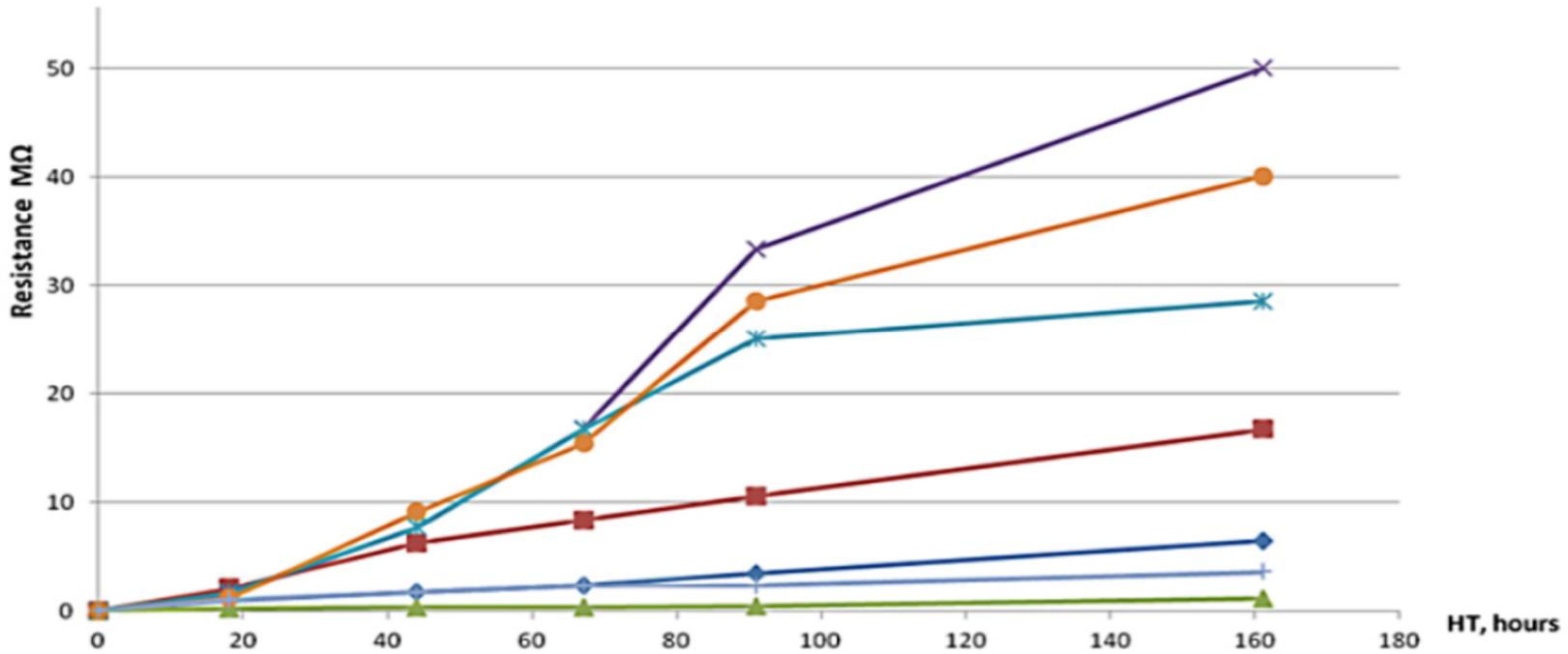
تم طلاء الألواح في معمل داخلي، و تبين ان أغلب منتجات RTV تحتاج أكثر من طبقة طلاء لتصل إلي السمك الموصي به من قبل الصانع وتم اجراء اختبارات كشط الالتصاق علي الطلاء طبقاً لمتطلبات {5} ISO 2409 وقد تم عمل الاختبار على جزء مستعرض 2x2 سم في سطح لوح مطلي بـ RTV بعد 24 ساعة من زمن المعالجة (انظر شكل 1). وبينت نتائج اختبار الالتصاق على عدد (7) عينات مختلفة من طلاء RTV أن عدد (6) عينات حدث لها التصاق 100% وعينة واحدة فقط كانت نتائجها أسوأ قليلاً حدث لها التصاق قدر بـ 95% وقد اوضحت النتائج ان الرطوبة المحيطة تؤثر علي جودة التصاق الطلاء ويجب ان لا تكون البيئة المحيطة جافة تماماً وان لاتقل الرطوبة النسبية عن 20% وهو ما لم يكن واضحاً في تعليمات الصانع.

## 2- اختبار خصائص السطح:

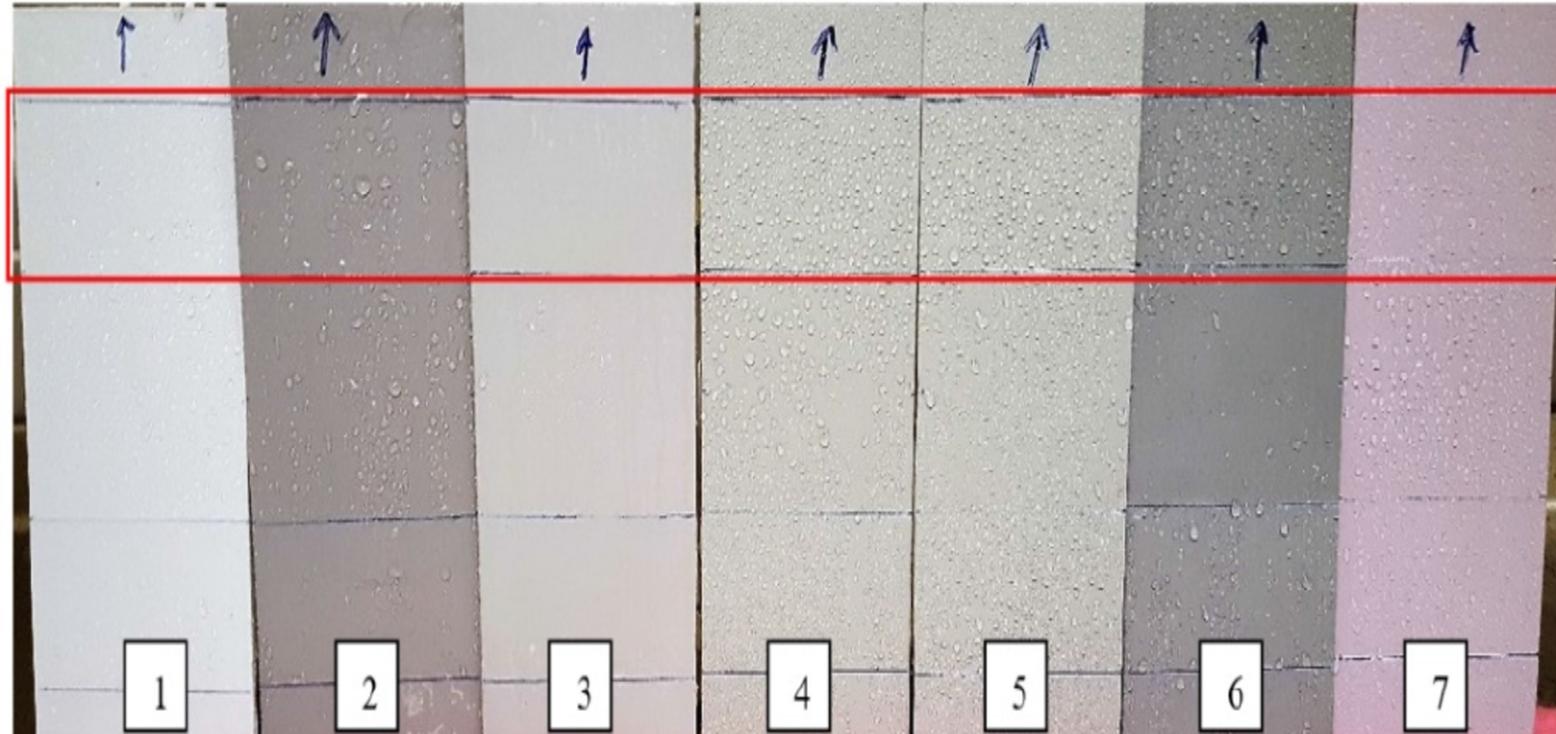


شكل (2) تجهيزة لتقييم انتقال ظاهرة طرد الماء الى طبقة التلوث

تم تقييم ظاهرة طرد الماء لمختلف الطلاءات من خلال وضع جهد يتراوح من 50 الى 200 فولت على الكترودين بينهم 120مم "انظر شكل 2" بهدف عمل سلسلة قياسات لتيار التسرب على الواح الزجاج المطلية بعد وضع طبقة تلوث صناعي عليها طبقا لمتطلبات CIGRE TB555 حيث تم قياس تيار التسرب 6 مرات بين الساعة صفر "بداية الاختبار" والساعة 160 بهدف دراسة كيف أن ظاهرة عدم التآلف مع الماء (المكونات الوزن الجزئى المنخفض) تنتقل إلى طبقة التلوث المجمعة على سطح الطلاء وهذه خاصية مهمة جدًا لطلاء RTV تزيد من مقاومة طبقة التلوث وتمنع مرور تيار التسرب وهذا يُخفض بشكل كبير من احتمالية حدوث وميض سطحى. ونتائج هذا الاختبار موضحة فى شكل (3) و (4) حيث يوضح شكل (3) وجود تغير فى مقاومة عينات الطلاء بمرور الوقت كما يوضح شكل (4) وجود اختلاف ملموس بين عينات الطلاء فى خصائص طرد الماء وبذلك تم تقييم فئة طرد الماء فى نهاية الاختبار طبقا للمواصفة القياسية IEC TC 62073



شكل (3) تغير المقاومة بمرور الوقت لعينات طلاء مختلفة نتيجة استعادة ظاهرة طرد الماء



شكل (4) ظاهرة طرد الماء في نهاية الاختبار (بعد 160 ساعة من الاستعادة) لالواح زجاج ملوثة ومظلمة  
بـ RTV لعينات مختلفة

## ثانياً: الأختبارات طويلة المدى "وتشمل اختبارات التلوث واختبارات التتبع والتآكل (التقادم)"



شكل (5) مثال لعازل خزفي تم طلاءه بمادة RTV لاستخدامه في اختبار التلوث طويل المدى

### تحديد عينات اختبارات التلوث:

تم استخدام عدد (9) عينات من عازلات تثبيت خزفية لعازل نمطى جهد 420 ك.ف يتم استخدامة فى الشركة السويدية وله مسافة زحف نوعى موحد حوالى 54 مم/ك.ف وتم تقسيمهم الى 3 مجموعات حيث تتكون المجموعة الأولى من 3 عازلات خزفية غير مطلية والمجموعة الثانية تتكون من ثلاث عازلات تم طلائها فى المصنع من خلال مُصنع عازل التثبيت بطلاءات مختلفة للـ RTV تم اختيارها طبقاً لنتائج الاختبارات قصيرة المدى السابقة (شكل 5) والمجموعة الثالثة تم طلائها من خلال عامل طلاء محلى صناعى باستخدام تعليمات المصنع.

## برنامج الاختبار الطويلة المدى 3- اختبارات التلوث

لا يوجد حالياً مواصفة قياسية عالمية IEC لتقييم اداء التلوث فى العازلات المركبة بما فيها العازلات المطلية بـ RTV. ولذلك يتم تطبيق طريقة التلوث الموجودة فى بحث السيجرية TB555 للحصول على طبقة تلوث منتظمة على العازلات المطلية بـ RTV كما يلى:

- تنظيف خفيف
  - التهيئة بمسحوق كاولين جاف
  - تطبيق طبقة التلوث (بالرش)
- وذلك على النحو الموضح تفصيلا فى شكل (6)



شكل (6) طريقة تطبيق التلوث على عازل مطلي بـ RTV. التنظيف (أعلى شمالاً) ، طلاء الكاولين بالفرشاة (أعلى يمين) ، إزالة الكاولين الزائد (أسفل شمالاً) ، والرش بمعلق الكاولين (ماء ، كاولين ، ملح)



شكل (7) الإعداد لاختبار الجهد

- يتم تلويث العازلات (المطلية بـ RTV او الغير مطلية) بتطبيق المحلول المعلق الذي تم إعدادة من المياة الغير مقطرة والكاولين وكلوريد الصوديوم والملح التجارى على العازلات من خلال تقنية الرش كما هو موضح فى شكل (6) وللحصول على طبقة منتظمة للتلوث يتم إدارة العازل افقيًا بسرعة 10 rpm أثناء تطبيق التلوث خلال فترة التجفيف.

- يتم اختبار العازلات بعد 4 ساعات من وضع طبقة التلوث وعندما تجف بعد 3 ايام بما يسمح باستعادة ظاهرة طرد الماء.

- عند اختبار الجهد يتم وضع العازلات الملوثة والجافة فى صالة الاختبار ويتم وضعها على عازلات تثبيت خزفية بارتفاع 2 متر. (شكل7)

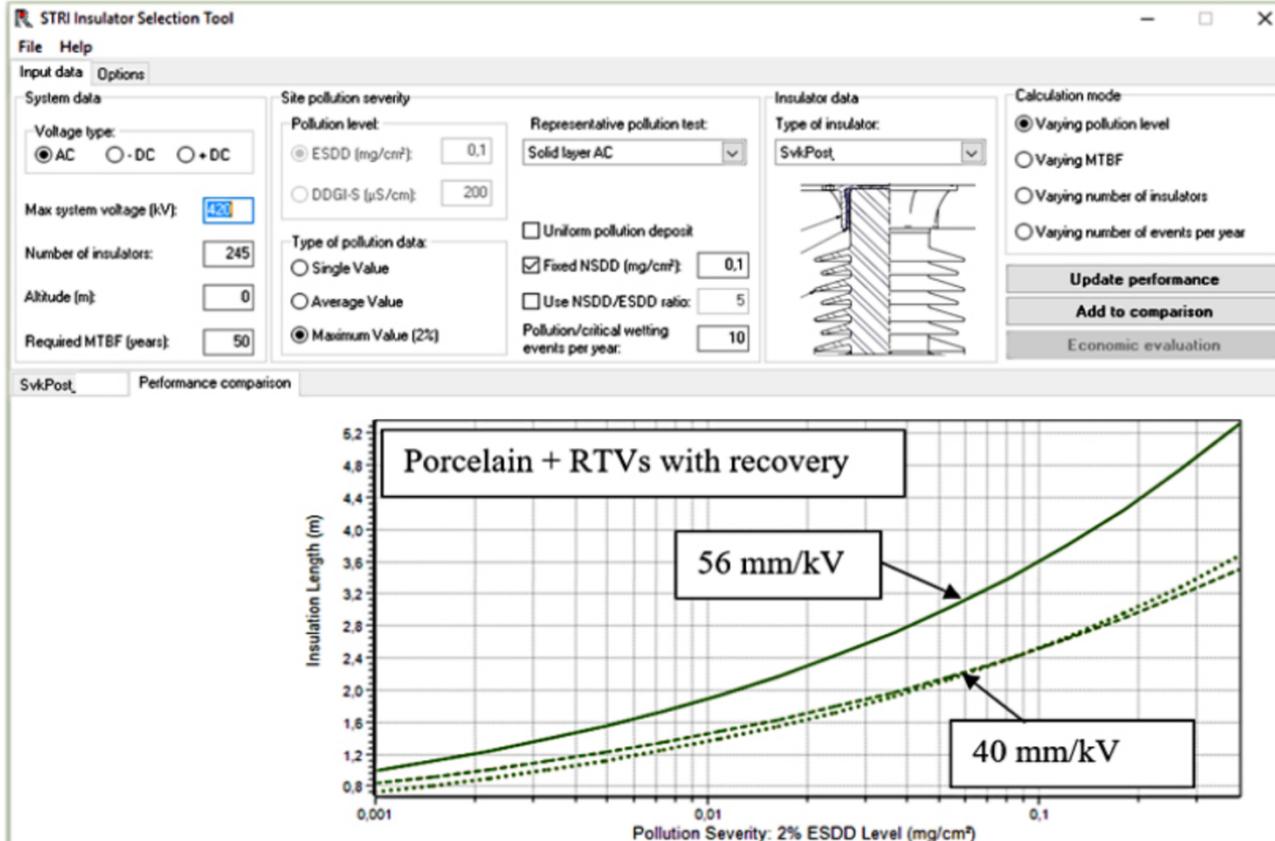
## ملخص نتائج اختبارات التلوث

منحنيات أداء الوميض السطحى للعازل الملوث التى تم الحصول عليها فى هذا التقرير باستخدام تقنية حديثة فى اختبار طلاء RTV تم تنفيذها باستخدام برنامج مساعد على الحاسب الآلى {10} Insulation tool software selection

للحصول على احصائيات عملية لتحديد طول العزل باستخدام الأسس الواردة بالموصفات القياسية العالمية IEC تم إجراء حسابات باستخدام المعاملات التالية :

- أقصى جهد للنظام 420 ك.ف.
- عدد العازلات التى على التوازي 245
- Mean Time Before Failure متوسط الزمن قبل حدوث عطل
- الترسيب غير منتظم
- عدد جزئيات الملح المترسبة
- NSDD ثابت = 0.1 mg/cm<sup>2</sup>
- عدد حوادث التلوث سنويًا : 15
- الانحراف المعيارى (ESDD) Ln : 6

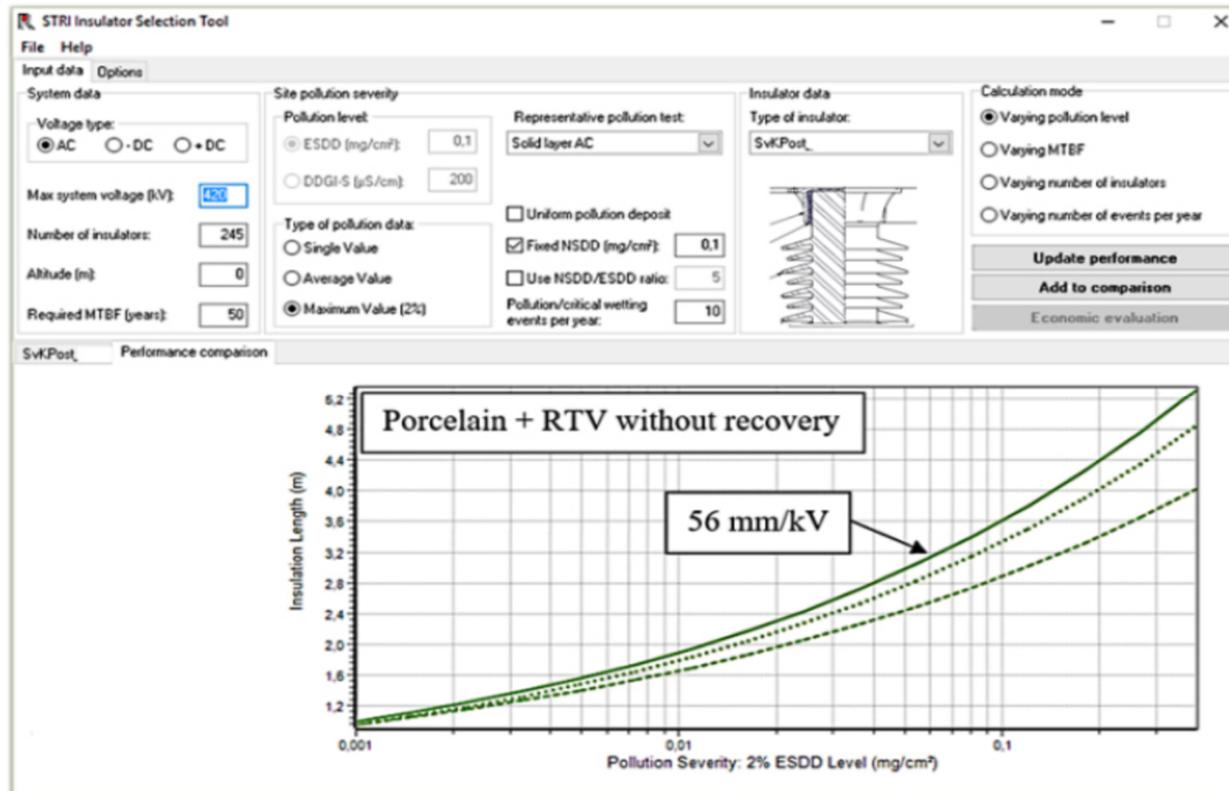
**وتم عرض نتائج الحسابات للطول المطلوب للعازل مع / بدون استعادة فى شكل 8 وشكل 9.**



— (upper curve) is:  
porcelain;

... (lower curves) is  
RTV with  
**recovery** of  
hydrophobicity

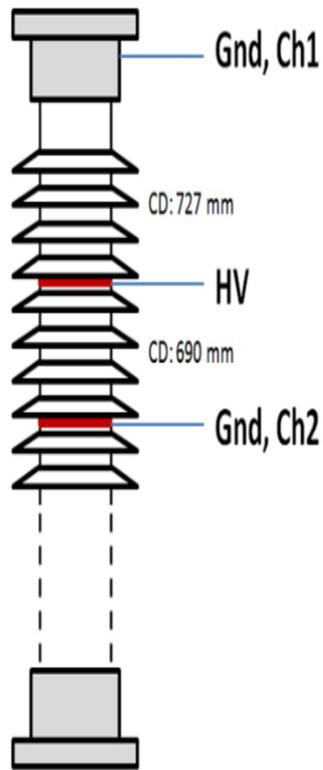
شكل (8) طول العازل وطول مسار الزحف المطلوب للخزف ولطلاءات RTV مع الاستعادة



— (upper curve) is porcelain;

... (lower curves) is RTV **without recovery** of hydrophobicity

شكل (9) طول العازل وطول مسار الزحف المطلوب للخزف وطلاءات RTV بدون الاستعادة



### تحديد عينات اختبار التتبع والتآكل ( التتقدم )

تم إجراء الاختبار على عدد (2) عازل خزفي بطلاءات RTV مختلفة بوضع عدد (2) الكترود على شكل أسورة من الحديد الصلب حول جسم العازل (شكل 10) وتم تطبيق الجهد على الالكترود الأوسط بينما تم تأريض الالكترود الأسفل والفلانشة العليا للعازل من خلال مقاومة على التوازي تسمح بقياس التسرب وهو ما يتيح اختبار قطاعين (قسمين) بمسافة زحف 727 مم و690 مم.

شكل (10) اختبار التتبع والتآكل

#### 4- اختبارات التتبع والتآكل:



يعتبر اداء التلوث للعازلات المطلية بـ RTV لمدة 160 ساعة بالتلوث الصناعي على المدى القصير مهم جداً ومن المهم أيضاً التحقق من اداء الدهانات بـ RTV على المدى الطويل (التقادم) لمدة 1000 ساعة بالضباب الملحي وحالياً لا يوجد مواصفة قياسية لتقييمه ولذلك تم اختيار اختبار التتبع والتآكل المطبق على العازلات المركبة البوليمرية لتشابه أسطحها مع العازلات المطلية بـ RTV) وللتأكد من كفاءة الاداء على المدى الطويل للطلاء الذي تم اختياره يتم تعريض العينات (عدد 2 عازل خزفي بطلاءات RTV مختلفة) لمدة 1000 ساعة اختبار بالضباب الملحي طبقاً للمواصفة القياسية العالمية IEC 62217 انظر دائرة الاختبار في شكل (11).

ويستخدم هذا الاختبار لاحداث إجهاد مستمر لمحاولة الكشف عن نقاط الضعف في المادة المستخدمة للطلاء والتصميم التي قد تؤثر على اداء العازل اثناء الخدمة. ويمكن استخدام اختبار التتبع والتآكل لرفض المواد أو التصميم الغير مناسبين.

شكل (11) إعداد اختبار التتبع والتآكل



### نتائج اختبارات التتبع والتآكل (التقادم)

اجتازت كلا من عينتي الطلاء اختبار الضباب الملحي لمدة 1000 ساعة وكانت النتائج مختلفة بين العينتين علي النحو التالي:

**نتائج العينة رقم (1) كما يلي:**

كانت اقصى قيمة لتيار التسرب فى نهاية الاختبار 240 مللى امبير مع عدم وجود تلف ملموس فيما عدا تغير فى اللون نتيجة الصدأ الناشيء عن الالكترود الحديدي وكانت حالة عدم التألف بقيمة متوسطة حوالى (HC 3-4) ، (أنظر شكل 12) ومع ذلك فى اليوم التالى استعاد السطح عدم التألف مع الماء مرة ثانية بصورة كبيرة.

**شكل (12) عينة رقم (1) بمستوى متوسط لعدم التألف مع الماء**

## نتائج العينة رقم (2) كما يلي:

أقصى تيار تسرب تم قياسه في نهاية الاختبار 20 ملي امبير. كما أوضح الفحص النظري بعد اكتمال فترة 1000 ساعة أن سطح العازل في حالة جيدة ، ولا يوجد آثار تفريغ. وفي اليوم التالي تم إعادة إجراء اختبار 1000 ساعة جديد. وكانت قيمة تيار التسرب منخفضة جدًا عند نهاية اختبار 1000 ساعة الثاني وتم فحص العازل بدقة بعد الاختبار الثاني وتبين عدم وجود علامات تلف عدا وجود تغيير في اللون نتيجة الصدا الناتج من الأحزمة الحديدية المستخدمة كالكترودات.



شكل (13) عينة رقم (2) بمستوى عالي لعدم التألف مع الماء

## الخلاصة

بناء على المعلومات المجمعة الخاصة بخبرة التشغيل وعلى نتائج الاختبارات قصيرة المدى التي أجريت على عدد (7) عينات من طلاءات RTV مختلفة ، فقد أوضحت النتائج أن الطلاءات لها نتائج جيدة في الالتصاق على الألواح الزجاجية كما أظهرت النتائج بوضوح أن الطريقة السليمة للتنظيف والتحكم في البيئة المحيطة واستخدام بطانة أولية للدهان (إذا استدعى الأمر) كلها أمور هامة جدًا للحصول على أفضل تطبيق للطلاء. كما أن سرعة استعادة التألف مع الماء كانت مختلفة جدًا لجميع أنواع الطلاءات السبعة.

وفيما يتعلق بالطريقة الحديثة لاختبارات الوميض السطحي للعازل الملوث صناعيًا التي تم تطبيقها على عازلات خزفية مطلية بـ RTV فقد تم التحقق من أداء التلوث قصير المدى كما أظهرت النتائج بوضوح أن العازلات المطلية بـ RTV لها جهد وميوض سطحي أعلى بشكل ملحوظ (أعلى 40%) مقارنة بالعازل الخزفي الغير مطلي. وتم استخدام نتائج هذا الاختبار للاختيار العملي لاطوال العازلات المطلوبة في محطات المحولات الواقعة في الساحل الغربي السويدي.

## تابع:الخلاصة

كما تم التحقق من الاداء طويل المدى للعازلات المطلية بـ RTV من خلال اختبارات الضباب الملحي والتي بينت أنه بالرغم من الاجهاد الطويل بالجهد والضباب الملحي (1000 - 2000 ساعة) فإن الطلاءات التي تم اختيارها لم تتأثر من التتبع والتآكل وأن مستوى تيار التسرب الذي تم قياسه في نهاية الاختبار رغم ذلك كان منخفض وان حالة عدم تألف السطح مع الماء لم تقل إلى مستوى حالة التألف مع الماء وتم استعادة السطح بسرعة لحالة عدم حالة التألف خلال 24 ساعة.

### المقترحات المقدمة إلى السيجرية و IEC

بناء على نتائج الاختبارات قصيرة المدى وطويلة المدى تم اقتراح التوصيات التالية لتأخذ بها كل من السيجرية و IEC :

- التوصية بتضمين اختبار الالتصاق كاختبار قبول في المواصفات القياسية المستقبلية عند شراء عازلات مطلية بـ RTV وكمثال اختبار كشط الجزء المستعرض الموجود في {5} ISO 2409 حيث يجب أن يحقق الطلاء متطلبات درجات ISO درجة (صفر) أو درجة (1).
- الاختبار المقترح على الألواح للتحقق من سرعة استعادة عدم التألف مع الماء يمثل وسيلة فعالة من أجل التأكد من صلاحية طلاءات الـ RTV المختلفة في مرحلة مبكرة. ويلزم التحقق من اجراء اختبار التلوث الصناعي الحديث على العازلات المطلية بـ RTV وبناء على النتائج يتم الاختيار العملى لطول ومسافة الزحف للعازلات المطلية بـ RTV .
- الحاجة إلى بعض اختبارات التتبع والتآكل للتحقق من الاداء طويل المدى للعازلات المطلية بـ RTV ويمثل اختبار الضباب الملحي لمدة من 1000 - 2000 ساعة بديلا لذلك .
- الاختبارات المقترحة يجب اعتبارها ضمن أعمال اللجنة الفنية للسيجيرية SCB2 الخاصة بالخطوط الهوائية (بالفعل تم مناقشة الحاجة إلى مجموعة عمل جديدة لطلاءات RTV) وقد تكون ضمن اهتمامات اللجنة الفنية للسيجيرية SC D1 الخاصة بتقنيات المواد والاختبارات المستحدثة.

شكرا لحسن استماعكم