وزارة النفط والثروة المعدنية
الشركة العامة لمصفاة حمص
مديرية الجودة والسلامة المهنية والبيئة

- العوامل المحددة في تصميم الخزانات
- الحماية الكاثودية

اعداد / مدير الجودة والسلامة المهنية والبيئة
المهندس سمير خالد

العوامل المحددة في تصميم الخزانات

عند تصميم أي خزان ، يجب أخذ العوامل التالية بنظر الاعتبار:
- هل المادة المخزونة تسبب التآكل Toxic ؟
- هل المادة المخزونة متطايرة Volatile ؟
- الضغط والحرارة للمادة المخزونة؟

بعد الإجابة على هذه الأسئلة... يتم تحديد نوع الخزان وفقاً للعوامل التالية:
١. كمية الهيدروكربونات المتحررة.
٢. التحديدات البيئية.

وعلى ضوء هذه الأمور يكون لدينا اختياران:
- الخزان ذو السقف الثابت Fixed-roof tank
- الخزان ذو السقف العائم Floating-roof tank.

وحدات استخلاص الغازات في الخزانات Units VRUs Vapor recovery

أن فقدان الغازات الهيدروكربونية من النفط أو أحد مشتقاته عند الخزن يمكن تقليلها باستخدام هذه الوحدات VRU ، فإذا سمحنا لهذه الغازات بالتحرر الى الهواء فأنها لن تؤدي الى فقدان حجمي في النفط وحسب ، بل الى تلوث البيئة وأخطار الحريق أيضاً.

أن وظيفة هذه الوحدات تتلخص بالنقاط الثلاث التالية:
١. جمع الغازات من الخزانات.
٢. إعادة تسييل الغازات.
٣. إعادة خزن السوائل الهيدروكربونية

ببساطة ، أن المطلوب من هذه الوحدات هو جعل المنظومة تعمل بأمان ومتنفس أكثر ، وبالشكل التالي:
- أثناء النهار ، وبسبب صعود درجة الحرارة ، يحدث تبخر للهيدروكربونية ويمكن تجميع الغازات الزائدة بواسطة VRU .
- وفي الليل يحدث تبريد للغازات مما يؤدي الى تكثفها وبالتالي حدوث حالة vacuum وسحب الغازات من وحدة VRU الى الخزانات.
- وعند الضخ من والى الخزان ، يمكن تبخير الغازات (اي تجميعها وتصريفها الى وحدة VRU).

طرق تحرر الغازات من الخزان:

بشكل عام ، يحصل التحرر في الظروف التالية:

- ملء الخزان: حيث يحصل تحرر للغازات عند ملئه ، حيث أن الضغط داخل الخزان يتجاوز ضغط valve pressure relief. أما بالنسبة لخزانات API تكون قيمة الصمام واطئة مما يؤدي الى فقدان الغازات يكون كبير نسبياً .

- تفريغ الخزان: حيث تتحرر الغازات من الخزان عند سحب السوائل منه الذي يؤدي الى تمددها في الفراغ الناتج من هذا السحب ، بالإضافة الى انخفاض الضغط الجزئي. وبالتالي يدخل الهواء أثناء السحب للحفاظ على الضغط البارومتري ، ويؤدي الى الوصول الى حالة التوازن.

- تحرر الغازات: حيث تتحرر الغازات داخل الخزان بسبب أحد الظروف التالية:
١. التمدد الحراري للغازات الموجودة.
٢. التمدد الحاصل بسبب التغيرات في الضغط البارومتري.
٣. زيادة في كمية الغازات بسبب تحررها وذلك في حالة عدم تغير مستوى السائل.

أن هذا التغير يحدث في أغلب أنواع الخزانات وخاصةً عند تجاوز حدود تغيير الضغط أو الحجم داخل الخزان.
أما الخزانات ذات السقف الثابت التي تستعمل لخزن النفط فيتم تصميمها لتغير طفيف في الضغط الموجب أو الضغط الفراغي vacuum (بعض الإنشات inches من الماء) وهذا يؤدي الى فقدان كبير في الغازات.

- التحرر عند التوقف: ويحصل بسبب أسباب أخرى مثل تحرر الغازات من الفتحات ، الصمامات ، والربوطات الأخرى.
- التحرر بسبب الغليان: ويحصل بسبب غليان السائل في الخزان ، وبمعنى آخر عند تغلب الضغط البخاري للسائل على ضغط المحيط.

الخسارة في الغازات الموجودة داخل الخزان بسبب الإزاحة:

وهي الغازات التي تخرج من الخزان بسبب الإزاحة ، إن السوائل الموجودة أعلى السائل في الخزان سوف تبدأ بالصعود الى الأعلى مسببةً ضغطاً على الغاز الموجود أعلاه لحين الوصول الى ضغط الـ Setpoint لصمام الأمان vent/relief valve.

الخسارة في الغازات الموجودة في الخزان بسبب التبخر:

ويتحقق هذا النوع بواسطة الحرارة المأخوذة من الجدران والسقف والأرضية عن طريق الإشعاع والحمل والتوصيل وغالباً ما تحدث هذه الحالة في الخزانات الحاوية على الهيدروكربونات.

الطلاء الواقي Protective Coatings

الطلاء الداخلي: يكون الغرض الأساسي منه هو حماية السطح الداخلي للخزان من التآكل وحماية المادة المخزونة من التلوث. ويجب أخذ العديد من الأمور بنظر الاعتبار مثل نوع السائل المخزون ، نوع الطلاء المتوفر ومدى توافقه مع سطح الخزان، نوع السطح الذي يتم طلاؤه ، وعدد طبقات الطلاء المطلوبة لتأمين الحماية القصوى.

وهناك العديد من أنواع الطلاء المتوفرة وهي على سبيل المثال:

قطران الفحم Tar Coal: وهو من أقدم الأصباغ وأكثرها وثوقاً ، وهو قليل النفاذية الى أبعد حد ويحمي السطح من الرطوبة والهواء ، وواقي ضد الماء الى حد كبير ، كما أنه مقاوم جيد للأحماض المعدنية الضعيفة ، والمواد القلوية ، والأملاح ، والمحاليل الملحية والمواد الكيمياوية القوية.

طلاء الراتنج (الأيبوكسي) Epoxy Resin Coatings

وهو طلاء لاصق ممتاز ، قوي ، مقاوم للحك ، كما أنه مقاوم جيد للرطوبة والمواد الكيمياوية. ويتم أستخدامه بكثرة في خزانات النفط الخام وخاصةً الخزانات ذات السطح العائم floating –roof tanks ، وخزانات المذيبات وطين الحفر ، خزانات الماء الصناعي والماء المنتج ، والأنابيب.

البطانة المطاطية Rubber Lining: ويستعمل كبطانة داخلية للخزانات المعرّضة الى ظروف تشغيلية قاسية مثل درجات الحرارة العالية أو الخزانات الحاوية على مواد شديدة التآكل مثل الكلوريدات المركّزة والأحماض المختلفة مثل : الكبريتيك ، الهيدروكلوريك ، الفسفوريك.

الطلاء بالغلونة Galvanized Coating: ويسمى أيضاً الطلاء بالزنك ، وهو مقاوم عالي الكفاءة لكل أنواع التآكل ، ويتم طلاء الخزانات بالزنك (الغلونة) بطريقة التغطيس الحار process hot-dip بعد التصنيع وقبل تشييد الخزان ، والخزانات المغلونة تستخدم لخزن النفط الحاوي على مركبات الكبريت مثل غاز كبريتيد الهيدروجين H2S. كما تعتبر الغلونة هي الطريقة الأكثر فاعليةً قرب سواحل البحار بسبب تعرض الخزانات الى الأملاح والتي تسرّع مشاكل التآكل.

الطلاء الخارجي External:

أن المتطلبات الأساسية لهذا النوع من الطلاء هي العوامل الجوية بالإضافة الى إعطاءه المظهر الخارجي. وتتوفر العديد من الأنواع لهذا الطلاء تبدأ من النوع الأساسي (وبطبقة واحدة) الى عدة طبقات ، وتحدد العوامل الجوية عدد الطبقات لهذا النوع من الطلاء ، وتتطلب المعدات الموجودة في المنصات البحرية Offshore والقريبة من السواحل الى العديد من طبقات الطلاء الخارجي أكثر من مثيلاتها في المناطق الأخرى.

ملحقات الخزانات

تتوفر العديد من الملحقات في الخزانات بالاعتماد على طريقة التصميم ، ومتطلبات العمل. ويمكن أن يحتوي على خلاطات mixers ، مسخنات heaters ، أجهزة الأمان وكسر الضغط الفراغي breakers vacuum /relief ، المنصات والسلالم Ladders ، وأجهزة القياس Gauging ، فتحات الصيانة Man ways ، والعديد من الربوطات مثل فوهات الدخول والخروج ومقاييس الحرارة Gauges Temp ، مقاييس الضغط Press. Gauges ، نقاط التصريف Vents.

الحواجز Dikes:

وتستعمل لتخزين حجم معين اعتمادا على المادة المخزونة ، وذلك لحماية ما يجاور الخزان من الحرائق أو تناثر المادة المخزونة ، ويمكن أن تكون الحواجز من الفولاذ ، أو الكونكريت ، لتقسيم الحجم الكلي للخزان ، كما توجد العديد من القنوات لأغراض التصريف drain.

الأرضي Grounding: وتستعمل في الخزانات الفولاذية المستعملة في تخزين السوائل القابلة للأشتعال لتقليل مخاطر الانفجار أو الحريق بسبب الكهربائية المستقرة.

الحماية الكاثودية CATHODIC PROTECTION

تستعمل لغرض السيطرة على التآكل الألكترو- كيميائي حيث أن التيار المتولد من سطح المعدن (القطب الموجب Anode) من خلال الألكتروليت Electrolyte.

أن هذا النوع من الحماية يقلّل من تآكل السطح المعدني من خلال استعمال تيار مباشر من مصدر خارجي لموازنة التيار المذكور للمعدن المغمور في سائل موصّل أو ألكتروليت مثل الماء أو غيره

الحماية الكاثودية Cathodic Protection

مبادئ الحماية الكاثودية :

أن المعادن تستخلص من خاماتها الأصلية (أو كسيدات المعادن metal oxides أو الجذور الحرة) ، ولديها الميل الطبيعي للعودة الى حالتها الأصلية بفعل الأوكسجين والماء. ويسمى هذا الأمر بـ التآكل وأصدق مثال له هو تآكل الفولاذ.
أن التآكل هو عملية ألكترو - كيمياوية Electro-Chemical Process التي تضمن مرور الشحنات الكهربائية Electrical Currents، حيث أن التغير من الحالة المعدنية الى الحالة المركبة يحدث بواسطة تفاعل آنودي Anodic Reaction :

$$M \text{ المعدن} \rightarrow M^{+} \text{ الذائب الملح} + e^{-} \text{ ألكترون}$$

والمثال الشائع لهذا النوع هو :

$$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$$

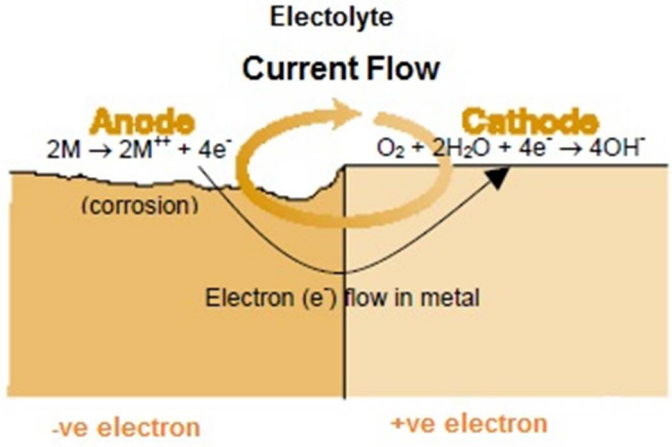
أن هذا التفاعل يُنتج ألكترونات حرة free electrons التي تعبر خلال المعدن الى موقع آخر من سطح المعدن (الكاثود) والذي سيستهلك بالتفاعل الكاثودي ، أما في المحاليل الحامضية فأن التفاعل الكاثودي يكون كالآتي :

$$2H^{+} \text{ hydrogen ions in solution} + 2e^{-} \rightarrow H_2 \text{ (gas)}$$

وفي المحاليل المتعادلة neutral solutions فأن التفاعل الكاثودي يشمل أستهلاك الأوكسجين المُذاب في المحلول. وكالآتي :

$$O2 + 2H2O + 4e- \rightarrow 4OH \text{ (alkali)}$$

وهكذا فأن التفاعل يحصل على الأنود وليس على الكاثود (مالم يتم مهاجمة الكاثود من قبل المواد القلوية):



عند التآكل فأن الآنود والكاثود قد يكونان على معدنين مختلفين ، متصلين ببعضهما ليكونا مزدوجاً ثنائي الفلز ، أو قد يكونان قريبين جداً على سطح المعدن.
أن ما يسبب عملية التآكل هو:
الفرق في فرق الجهد الكهربائي في المزدوجات ثنائية المعدن ، والتغيرات على حالة المعدن على نقاط مختلفة على السطح والتغيرات المحيطية مثل فرق تركيز الأوكسجين على السطح فالمناطق التي يزيد فيها تركيز الأوكسجين تصبح الكاثود ، أما المناطق التي يكون فيها تركيز الأوكسجين قليلاً سيصبح الأنود.
أن مبدأ الحماية الكاثودية هو ربط آنود خارجي الى المعدن لحمايته ومرور التيار الكهربائي لجعل مساحة المعدن كاثود بالكامل وبالتالي عدم تآكله.
أن الآنود الخارجي قد يكون Galvanic Anode حيث يكون التيار الكهربائي نتيجة لفرق الجهد الكهربائي بين المعدنين ، أو تأثر الآنود الحالي حيث يكون التيار متأثراً من مصدر تيار. DC
وبتعبير آخر ، وبمصطلحات الكيمياء الكهربائية فأن التيار الكهربائي بين المعدن ومحلول الألكتروليت والذي يكون سالباً من خلال تجهيز الألكترونات السالبة التي الحد الذي يقلل تفاعلات الأنود التي تسبب التآكل ويسمح بحدوث التفاعلات الكاثودية فقط .

يحسب تيار الحماية الوقائي من قبل مهندس الحماية الكاثودية، مستندا بذلك على سلامة طلاء الهيكل المعدني ومقاومة عزله والمقاومة النوعية للتربة وكمية التيار وفرق الجهد الكهربائي المطلوبة توفيره من المحول الكهربائي طوال العمر التشغيلي للتركيب الفولاذي المراد حمايته.
نظام الحماية الكاثودية الجيد يحمي التركيب بدون التسبّب بتطور وتكون هيدروجين الذي قد يسبّب بتلف الترابط والتلاصق بين الهيكل المعدني والطلاء/ العازل نتيجة لضغط الهيدروجين المتكون، تلافيا لتجمع كميات كبيرة من الهيدروجين على سطح الأنبوب يتولد عنه ضغط مرتفع فيحدث شقوقا في غلاف الأنبوب ويجب أن لا يزيد فرق الجهد بين أي نقطة على سطح الأنبوب والتربة عن (٢.٥) فولت.
يمكن جعل الهيكل المعدني كاثود سالب باستخدام أقطاب أنودات التضحية الموجبة Sacrificial Anodes أو بالتيار

المسلط من وحدات المحولات/المقومات الحماية الكاثودية CP Transformer Rectifier

الحماية الكاثودية باستخدام أقطاب آنودات التضحيةCP by Sacrificial Anode

عموما يلجئ لها في الحماية في المناطق التي بها العديد من الهياكل المعدنية المدفونة (المنفصلة عن بعضها) والمطلوب حمايتها، حيث تقوم كل مجموعة آنودات بحماية الهيكل / الهياكل المعدنية المتصلة بها فقط .
عندما تكون أقطاب آنودات التضحية مصممة ومصنعة ومختبرة بصورة جيدة وتم ربطها بشكل جيد وصحيح فأنها سوف لن تحتاج لتعديل وتضبيط مستمر طوال العمر التشغيلي الافتراضي للأقطاب، بعدها وعند استهلاكها يتوجب استبدالها بأقطاب أخرى جديدة.
أقطاب آنودات التضحية المثالية لحماية الهياكل المعدنية المدفونة بالتربة هي المصنوعة عادة من المغنيسيوم Magnesium Anodeوتعرف بأقطاب المغنيسيوم للتضحية وبالنسبة للهياكل المعدنية المغمورة أو الغاطسة بمياه البحر فأن آنوداتها تكون عادة من سبائك ألمنيوم / خارصين / غالفالوم / إنديوم Aluminum / Zinc / Galvalum / Indium Alloys .

الحماية باستخدام التيار الكهربائى المسلطImpressed Current Cathodic Protection

تستخدم عادة للهياكل المعدنية الكبيرة ولكون توظيف الحماية الكاثودية باستخدام أقطاب آنودات التضحية CP by Sacrificial Anodeيصبح غير اقتصادي لحماية خطوط الأنابيب الطويلة.
لذلك فأنها غالبا ما يستخدم هذا الأسلوب في شبكات خطوط الأنابيب الطويلة والمنشئات الصناعية والنفطية التي تحوي على أعداد كثيرة من الخزانات الكبيرة والهياكل المعدنية المدفونة.
الأنودات المستخدمة في هذا الأسلوب من الحماية قد يكون أسطواني الشكل وعلى شكل قضيب أو سلك أو أنبوب أو على شكل شريط، وموادها يمكن أن تكون مصنوعة من حديد السيليكون المصبوب Silicon-Cast Iron أو خليط أكاسيد معدنية Mixed Metal Oxide أو الكرافايت Graphite أو سبائك المكسية بالبلاتين أو التيتانيوم Platinum or Titanium coated alloysأو حديد الصلب السليكوني Silicon-Cast Iron الأكثر اقتصادا ولكن يتشقق ويتفطر بسهولة مما يستدعي العناية أثناء نصبه ودفنه وأن ينفذ العمل من قبل عمال مهرة ومحترفين ويحسنون استخدام المعدات المناسبة كون هذه الأقطاب ثقيلة الوزن، مع أهمية مراعاتهم بعدم انفصال وكسر وتلف وصلة أسلاك الربط بالأقطاب. وكذلك يمكن استخدام أقطاب أنوديفليكس الأنبوبية المرنة Flexible "Anodeflex" tubular anodes .

فمنظومة حماية مثالية من هذا النوع لغرض حماية خط أنابيب طويل ستتضمن وحدات محولة / مقومة (١٠-٥٠) أمبير. Transformer Rectifier Units
وجهد ٥٠ – ١٠٠ فولط كما يكمن توظيف منظومة طاقة شمسية لهذا الغرض.
تكون المسافة المثالية بين الأحواض الأرضية أو محطة وأخرى (٢٥ -٥٠) كم.
في حالة استخدام وحدات محولة / مقومة Transformer Rectifier Units ذات قدرات خرج مرتفعة فيجب أن يكون الحوض الأرضي لدفن الأنودات أكثر بعدا عن خط الأنابيب وذلك للحد ولتخفيض الارتفاع الجهد المحتمل قرب خط الأنابيب وأن لا يقل عن ٨٠- ١٥٠ متر، وبالنسبة لحماية الخزانات تكون المسافة من ١٠ – ١٠٠ متر ,وتحسب المسافة الأقل على أساس واعتبار قيمة مقاومة التربة النوعية.
في أغلب الأحيان لا يكون هناك مسافة كافية من الأرض ضمن المحرمات Right-of-Way (ROW) لتحقيق مثل هذا الشرط فيلجأ عندها إلى استخدام الأحواض الأرضية العميقة Deep Well Ground Beds حيث تكون بعمق ٦٠ متر أو أكثر تدلى بها الأقطاب بأغلفة معدنية ٢٠ -٢٥ سم تحوي Conductive Coke Breeze تدلى داخل غلاف البئر المعدني.
يستخدم الغلاف الفولاذي للبئر المحفورة في التربة لسلامة البئر و عند سكب الفحم Coke Breeze حول الأقطاب لملء فجوة البئر والتي تنفذ ببطء لتجنب تكون فراغات هوائية ,وعند تشغيل المنظومة سيصدأ الغلاف ويتلاشى في النهاية ويصبح جزء من التربة المحيطة.
يعدل خرج وحدة محولة / مقومة Transformer Rectifier Unit من قبل الفني المختص لحده الأمثل المطلوب مستندا على قياسات الكهروكيمياوية و سرعة تجاوب واستكمال استقطاب التربة المحيطة بخط الأنابيب لتأمين جهد الحماية المطلوب.

وحدة محولة / مقومة Transformer Rectifier Unit

تربط وحدة محولة / مقومة الطاقة الكهربائية ذات التيار المتناوب والتي تعطي كخرج Out Put لها جهد الحماية ذو التيار مستمر اللازم لمنظومة الحماية ذات التيار المسلط.
تصنع وحدات محولة / مقومة حسب الطلب المناسب لحالة منظومة الحماية اللازمة حيث تكون بأحد الأشكال التالية:
- المحولات المقومة ذات التبريد الهوائي Air - Cooled T/R
- المحولات المقومة ذات التبريد الزيتي Oil - Cooled T/R
- المحولات المقومة المنيعة على اللهب Explosion Proof T/R
أو يمكن أن تكون ذات مصادر للطاقة الكهربائية غير تقليدية Special DC - Power Sources
- وحدات الخلايا الضوئية Solar Power Unit
- مولدات الكهرباء الحرارية Thermo Electric Generators
- مولدات الكهرباء الهوائية Wind Generators

حيث تعتمد فيها فكرة DC / DC للتوليد وكخرج مسيطر عليه بالنسبة لوحدات مولدات الكهرباء الحرارية و مولدات الكهرباء الهوائية وتضاف بطاريات بسعة مناسبة للمنظومات التي تستخدم وحدات الخلايا الضوئية لتغطية الفترة الليلية أو عندما يكون الجو غائم.
تجهز الوحدات عادة بأجهزة القياس رقمية أو تناظرية لتبيان الجهد والتيار.

نقاط الفحص والعزل للحماية الكاثودية CP Test Posts and CP Isolation

هي هياكل Structures و أشكال Posts قياسية تحوي على نقاط الفحص ولتوصيل أجهزة الفحص وأسلاك الفحص ولإجراء قياسات الجهد بين الهياكل المعدنية المحمية والتربة المحيطة Structure-To-Soil Potential Measurements , وكذلك لربط أنودات التضحية بالهياكل المعدنية والأنابيب المراد حمايتها كاثوديا.
قد تؤثر كابلات الاختبار و الفحص وتعمل كمسار لتيار الحماية لأجزاء أخرى من شبكات خطوط الأنابيب و الأجسام المعدنية وخصوصا عند Block Valve or Metering Stations حيث يتم عزل المنشئات السطحية عن المنظومة المحمية .
في خطوط الأنابيب التي تنقل مواد هيدروكربونه يجب استخدام مانعات للتمور Surge Arrestors تركب عند وصلات العزل Insulating Joints لضمان وتأمين العزل من الانهيار والتلف بسب ضربات الصواعق أو التوصيلات الكهربائية الخاطئة والتيارات العابرة، حيث يؤرض كلا جهتي العزل و الجزء المحمي كاثوديا، ويكون تأريض الجزء المحمي كاثوديا من خلال خلايا استقطاب Polarization Cells لمنع تيار الحماية المستمر The CP - DC Current من التسرب للأرض.
كذلك تحتاج الخزانات المحمية كاثوديا خلايا استقطاب Polarization Cells تربط بين نقطة التأريض وشبكة الأرضي لضمان عدم تسرب تيار الحماية الكاثودية للخزان من التسرب لشبكة الأرضي.

اعتبارات تصميمية أخرى Other Design Considerations

على المصمم حساب حجم ونوعية و فترة عمر استخدام أقطاب الأنودات وعلى أساس نموذجي ١٥ ـ ٣٠ سنة من الاستخدام والتشغيل بالنسبة لأسلوب الحماية باستخدام التيار الكهربائي المسلط by Impressed Current Cathodic Protection و ١٠ ــ ١٥ عام بالنسبة لأسلوب الحماية الكاثودية باستخدام أقطاب آنودات التضحية CP Sacrificial Anode .
حساب المسافات بين الأقطاب لضمان منع تآكل طرف توصيل الأقطاب غير الناضج Premature Anode-End Corrosion والذي يؤدي إلى تلف مجموعة الأنودات وإيقاف عملها ووجوب استبدالها لتقطعها وفقدان التوصيل فيها.
تدقيق وتقدير تيار كتلة الفحم Coke Breeze Current Rating ومساحة الاتصال السطحية مع الأقطاب الأنودات لمرور التيار الكافي وضمان مستوى واطئ وثابت لمقاومة حلقة الحماية الكاثودية.

معايير القبول والمقاييس Measurements and Acceptance Criteria

تقاس الإمكانية الكهروكيمياوية للحماية الكاثودية CP Electrochemical Potential is Measured **بواسطة أقطاب مرجعية قياسية:** Reference Electrodes **مثل :**

1. Copper-copper(II) sulfate electrodes are used for structures in contact with soil or fresh water.

2. Silver chloride electrodes are suitable for seawater applications (compatible electrolyte).

المصدر :

النفط والغاز الطبيعي العربي

اعداد وتقديم / مدير الجودة والسلامة المهنية والبيئة

المهندس سمير خالد