

"مناقشات علمية حول كيمياء دوائر و أبراج التبريد"

Scientific Discussion About the Chemistry of Cooling Systems and cooling towers



تجميع و إخراج
كيميائي / سلمان محمد حامد

تنبيه هام :

هذا الملف هو جزء من دورة الكترونية بعنوان :

"مناقشات علمية حول كيمياء دوائر و أبراج التبريد"

المحاضر

كيميائي/ وليد السيد محمود

تعريف بمنندى خبراء تكنولوجيا المياه

إن الواقع المائي العربي يفرض تحديات كبيرة أمام الحكومات والشعوب العربية، حيث أن معظم الدول العربية باتت مصنفة تحت خط الفقر المائي، مما يعني أن نصيب الفرد العربي من موارد المياه المتجددة أقل من ألف متر مكعب في العام، وهو من أقل المعدلات في العالم. بالإضافة إلى أن (65%) من تلك الموارد منبعها من خارج أراضي الوطن العربي، وتشير الدراسات إلى أن حصة الفرد العربي من المياه في تدني متزايد مع الزمن، مما ينذر بنقص حاد في القدرة على تلبية المتطلبات التنموية الأساسية.

وحيث أن الأمن المائي هو الرافد الرئيسي للأمن الغذائي والتنمية الصناعية والاقتصادية والرفاهية الاجتماعية، فعلى جميع الحكومات والشعوب العربية أن تدرك خطورة تفاقم الفجوة المائية الناتجة عن الشح المتزايد في المياه في الوقت الذي يتنامى فيه الطلب عليها، وأن الأزمة المائية العربية باتت وشيكة، وأن الطموحات والخطط التنموية العربية أصبحت في مهبط الريح، الأمر الذي يتطلب مشاركة قوية من المتخصصين لإيجاد حلول مبتكرة من أجل العمل على وضع حلول لتلك الأزمة.

رؤية المنندى

أن يكون منندى خبراء تكنولوجيا المياه أكبر صرح علمي عربي في مجال المياه يلتقي من خلاله خبراء المياه العرب لتبادل الخبرات وبناء القدرات.

رسالة المنندى

المساهمة في الارتقاء بقطاع المياه في الوطن العربي، والعمل على تحقيق الاستدامة المائية العربية من خلال رفع مستوى الوعي لدى الحكومات والشعوب العربية بمشكلات وقضايا المياه، ومد جسور التواصل بين الخبراء والمختصين والعاملين في مجال المياه، في جميع أنحاء الوطن العربي، بهدف تبادل الخبرات، وبناء القدرات، وتكامل الجهود، ومناقشة الأفكار، وتبادل الرؤى حول كافة الموضوعات التي تخص مجال المياه.

الاهداف

1. ايجاد الحلول الملائمة اقتصاديا وفنياً لتوفير كميات المياه التي تكفي لتلبية المتطلبات البلدية والزراعية والصناعية في القطر العربي.
2. تطوير نظم معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي للحفاظ على الصحة العامة والبيئة واعادة استخدامها كمورد غير تقليدي ومتجدد للمياه.
3. التعاون بين أعضاء المنتدى لإيجاد المعلومات والحلول للمشكلات التي تواجههم وتوفير البرامج والدورات التدريبية والوظائف الملائمة لهم.
4. التعاون الفني مع الجهات المعنية بالشأن المائي في مختلف دول العالم بهدف نقل وتوطين الخبرات والتقنيات في المنطقة العربية.
5. توفير المعلومات والخبرات والوثائق اللازمة لتحسين المستوى الفني والإداري لأعضاء المنتدى ولا يسمح بنشر أو طلب أو تداول أي وثائق أو معلومات أو كتب لها حقوق نشر محفوظة لافراد أو جهات عربية أو أجنبية.

سلسلة دورات المفاهيم الأساسية لمعالجة المياه

هي سلسلة علمية متخصصة في مجال علوم المياه والتي يقدمها محاضرون خبراء متطوعون في منتدى خبراء

تكنولوجيا المياه من اجل نشر العلم والمعرفة .

فالعلم مثل اللغة له أساسيات ومفاتيح ...

إن أدركها الشخص استطاع ممارسة هذه اللغة ...

وكلما زادت الحصيلة اللغوية تحدث الشخص بمهارة أكبر واستطاع الاندماج مع متحدثي هذه اللغة...

كذلك علوم المياه – مثل أى علم – له مفاتيح ومفاهيم أساسية ينبغي لمن أراد ممارسة هذا المجال فهم هذه المفاتيح

والمفاهيم واستيعابها...

وهذه السلسلة العلمية سيتم فيها سرد المفاهيم الأساسية التي تساعد المبتدئ في خوض هذا المجال الشيق في صورة

مبسطة...

إنها سلسلة لا غنى عنه لكل كيميائي يعمل في هذا المجال أو يريد الإلتحاق به...

إن الغرض من هذه السلسلة هو إعداد جيل كبير من الخبراء لسد هذا الثغر في وطننا العربي.

نسأل الله أن ينفع بها ...

صدر من سلسلة دورات المفاهيم الاساسية لمعالجة المياه

- كتاب المفاهيم الأساسية فى علوم المياه والتحليل الخاصة بها.
- كتاب المفاهيم الأساسية لميكروبيولوجيا المياه.
- كتاب مناقشات علمية حول كيمياء التناضح العكسي – الجزء الأول.
- كتاب مناقشات علمية حول كيمياء التناضح العكسي – الجزء الثانى.
- كتاب تقنيات المعالجة المبدئية لتحلية مياه البحر بالأغشية – كتاب مترجم .
- معالجة مياه الصرف الصناعي – كتاب مترجم.

يمكنك تحميل كل هذه الكتب مجاناً من خلال منتدى خبراء تكنولوجيا المياه عبر
الرابط التالى :

<http://watertechexperts.com/vb/forum.php>

أسماء المهندسين المشاركين بخبراتهم في الدورة التدريبية

مناقشات علمية حول مناقشات علمية

حول كيمياء دوائر و أبراج التبريد.

أيمن عوني عيد	الدكتور أحمد أنور أحمد
أيمن موسيليني عارف	أحمد محمد محمود
سلمان محمد حامد	سامر نادر الأسدي
إسلام غريب أبو بكر	نور علي محمد
أحمد بن عمر طعم الله	محمد طه حسين
أبو طارق خريفة	شعيب محمد محمود شعبان
أحمد أسامة موسيليني	حسن البحر
أحمد جمال	حسن محمد حسن عبدالله
إسلام جمال	حمدي السيد محمد
أميرة عبد المنعم	حسام ابراهيم درويش
احمد مدحت عبد المعطى	جمال جمعة
أحمد أحمد ماضي	حسن باديني
أحمد خيرى العزاوي	خالد موسى
أحمد الربيعي الربيعي	شريف محمد حسن
أحمد حسن أحمد	عادل عبد الحليم السلايمة
إيهاب علي بيومي	علاء محمد إبراهيم صباح
إبراهيم زغلي صادق	فتحي محمد محمد أحمد
أحمد جودة خليل	عزت عبد العزيز
أحمد حميدة سليم	سعيد جمعه سعيد
سمير أديب	مروان خميس هاشم المفتش
سعيد جمعة سعيد	محمد سعدوني بيومي بسيوني
سيد حسن عسيري	حسين العرسالي

أسماء المهندسين المشاركين بخبراتهم في الدورة التدريبية

مناقشات علمية حول مناقشات علمية

حول كيمياء دوائر و أبراج التبريد.

يامن زاهر بالي	مدحت سعيد خليفة
محمود جمعه حسين	ياسر خميس عسكر
محمد علي الصاوي محمد	محمد عويس أبو الفضل
يحي صالح ابراهيم	محمد ابوالقاسم خيري
محمود محمد نجيب	محمد صبحي الخطيب
محمد علي عبد الفتاح	حمدي حسن
محمد عبد المقصود سنبل	عمر الفاروق
محمود هاشم محمود سليمان	نادر النجار
ناجي سعيد عبد المطلب	محمد علي السعيد أحمد
عبد العزيز عبد الغني السبئي	محمد بركات
عباس طاهر صالح	عبد الرزاق التومي
محمد محمد عدنان ناشد	عاصم العراقي
محمد جابر محمد جاهين	محمد طه
محمود عبد العزيز رزق	محمد عادل
عصام أحمد البسيوني	هاني حسني
عمر عبدة	علي جواد
محمد عويس أبو الفضل	فاضل الفار
عمرو محمد المصري	عاصم عبدالله عبدالمجيد
ياسر أحمد المحمد	هاني حسني عبد العزيز محمود
عبد الجابر صلاح لهلوب	عماد حمدي الملاح
ياسر المحمد	

الفهرس

- 1- فكرة التبريد بالمياه وأهميته واستخداماته 4
- 2- لماذا التبريد بالماء؟ وما هي أفضل مصادرها؟ 13
- 3- تقسيم دوائر التبريد! 21
- 4- أبراج التبريد (COOLING TOWER (CT) 40
- 5- لنقترب أكثر وندخل برج التبريد!! 50
- 6- أنواع أبراج التبريد! 66
- 7- كفاءة برج التبريد! 93
- 8- النظام المائي في أبراج التبريد! 108
- 9- حسابات ومعادلات في برج التبريد! 119
- 10- المشاكل الكيميائية والبيولوجية في أبراج التبريد! 132
- 11- تكون القشور (SCALES) 142
- 12- معامل LSI ومعامل RSI! 155
- 13- تعريف التآكل وآلية حدوثه! 163
- 14- العوامل المؤثرة في تآكل المعادن ومؤشرات حدوثه! 173
- 15- أنواع التآكل 180
- 16- مشكلة النمو البيولوجي (البايوفاولينج) BIOLOGICAL FOULING 198
- 17- الفاولينج الغير بيولوجي في دوائر التبريد!! 212
- 18- (بروتوكول) معالجة المياه في دوائر وأبراج التبريد!! 217
- 19- حول المعالجة الخارجية لمياه دوائر أبراج التبريد!! 226
- 20- المعالجة الداخلية لمياه أبراج التبريد 229
- 21- مقاومة التآكل وأمثلة لمضادات التآكل (ANTI-CORROSION) 240
- 22- أمثلة ودراسات وخبرات في مقاومة التآكل! 260
- 23- مقاومة تكون قشور الأملاح 273

289	24- مقاومة النمو البيولوجي بإضافة البايوسايد (BIOCIDES)
306	25- مراقبة أنظمة التبريد وكيفية حساب الجرعات الكيماوية!
340	26- قياس معدل التآكل واختبار الكوبون COUPON TEST!
354	27- يوم في حياة دائرة تبريد مغلقة
366	28- تكييفات التثييلر ومناقشات حول دوائر التبريد المغلقة!
387	29- التنظيف الكيماوي والميكانيكي!!
393	30- مشاكل من هنا وهناك في أنظمة التبريد!
405	31- الليجيونيلا القاتلة!
412	32- ظهور اللون الأخضر في قوارير المياه المعدنية
416	33- مشكلة الأجسام البيضاء في المياه المنتجة من محطة ال RO
436	34- الخشب في أبراج التبريد!
440	النقاش الخامس و الثلاثون:-
440	35- حل مبتكر لتبريد الماء الداخل على برج التبريد!
443	36- الصدا الأبيض!
446	37- مصير مياه التفوير!
448	المراجع العلمية



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

1- فكرة التبريد بالمياه واستخداماته



النقاش الأول**1- فكرة التبريد بالمياه وأهميته واستخداماته**

القارئ الكريم ... التبريد هو أمر أساسي في الكثير من العمليات الصناعية!

المادة التي تقوم بالتبريد تسمى Coolant ...

وتنقسم أنظمة التبريد الصناعية إلى نوعين:

1- التبريد بالهواء بالبارد Cooling air ... ونحن ليس بصدد هذا المقام.

2- التبريد بالمياه Cooling water وهو ما سنحكي عنه بالتفصيل في الأيام القادمة ...

ولتبسيط الموضوع تخيل كوب به شراب ساخن عندما نريد تبريده بسرعة فإننا نسمح له بأن يلامس مياه (أو سائل آخر) بأن نمرر على الكوب من الخارج مياه من الصنبور أو نضعه في وعاء به ماء بارد وهكذا ... فنتنقل الحرارة من الوسط الساخن إلى الوسط البارد فيتم بذلك تبريد الشراب لنشربه هنيئاً مريئاً ... يعني يحدث انتقال للحرارة heat transfer ... وبالطبع المياه الداخلة على النظام التبريدي وهي ال Intake water تختلف في خصائصها عن المياه الخارجة Outtake water لأن الحرارة اختلفت وبالتالي التوصيلية الكهربائية المرتبطة بالأملاح الذائبة الكلية TDS تختلف ... إلى غير ذلك من المتغيرات.

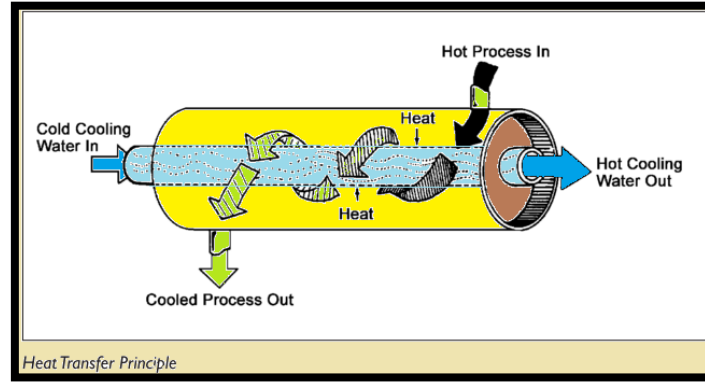
تلك هي اللحظة الأولى في أنظمة مياه التبريد...

لماذا التبريد؟؟؟

منظومة التبريد تؤثر على ما يختصرونه بالTCO أو ال Total cost of operation أو التكاليف الكلية للعمليات الصناعية وغيرها ... فتبريد المنتج أو المعدة وبطريقة صحيحة يقلل الوقت والطاقة ويعمل على زيادة سرعة الإنتاج بل وجودته في بعض الأحيان.

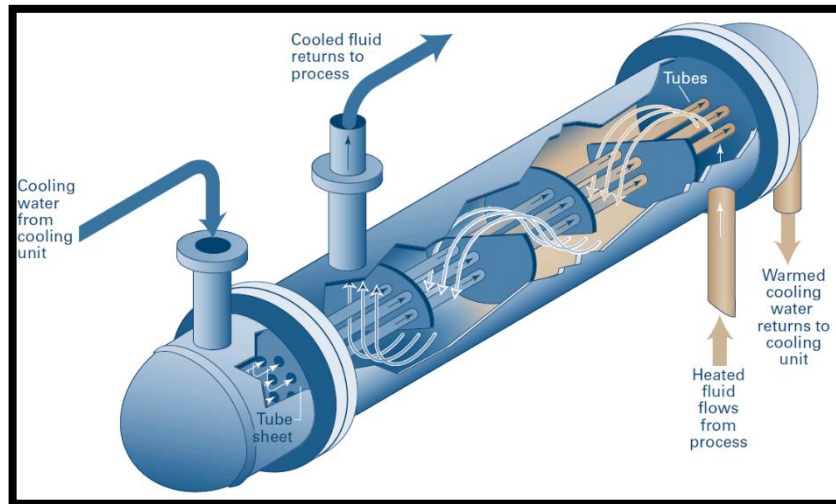
الاستخدامات المشهورة لأنظمة التبريد وأبراج التبريد:

اللجوء إلى أنظمة التبريد عامة يرجع إلى عدة أسباب رئيسية ... منتج ساخن أريد تبريده ... أو مُعدة مرتفعة الحرارة أحتاج لتبريدها ... أو تبريد بخار وتكثيفه كما في محطات الكهرباء كما سيأتي ... ويتم ذلك عن طريق مبادلات حرارية Heat exchangers ... حيث تمر مياه التبريد في مواسير معدنية تلامس المنتج أو الوسط المراد تخفيض حرارته كما ترى في الصورة التالية ... ولا يحدث تلامس مباشر Direct contact مع الماء ... تدخل المياه إلى المبادل باردة وتخرج منه دافئة أو ساخنة ... فنقوم بتبريدها بصورة ما - نشرحها بعد ذلك - ليتم إعادتها مرة أخرى إلى المبادل أو نتخلص منها.



تعليق الدكتور عزت عبد العزيز:

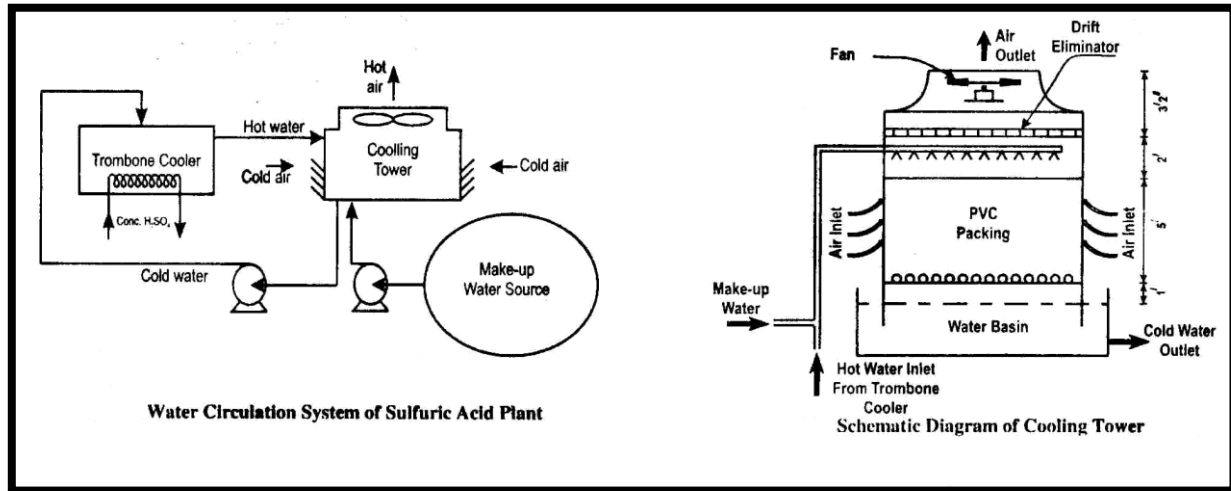
ولتبسيط الصورة أيضا كما يحدث في جهاز التقطير هو تكثيف عن طريق إمرار مياه منخفضة درجة الحرارة للتكثيف. وهذه صورة أخرى لمبادل حراري ترى فيه مجموعة مواسير tubes داخل غلاف shell ... عدد المواسير يتراوح ما بين 15 إلى 1000 ماسورة في المتوسط حسب السعة المطلوبة ... ومادة الصنع تكون غير سميكة للوصول إلى أفضل انتقال حراري heat transfer ... وتحتاج لحماية من التآكل أو ترسب الأملاح عليها.



وهناك حالتان ... لو كانت مياه التبريد داخل هذه الأنابيب والسائل المراد تبريده بالخارج في الجزء الخارجي فإن المبادل يُسمى Tube-side cooling ... ولو كان مياه التبريد بالخارج والسائل المراد تبريده بداخل المواسير فإن المبادل يُسمى shell-side cooling.

ونستخدم أنظمة التبريد في عدة شركات ومصانع مثل المبادلات الحرارية في مصافي النفط والصناعات البتروكيمياوية والمصانع الكيماوية والمعدنية والبلاستيكية والغذائية ومصانع الطاقة الكهربائية والنووية وتبريد محركات الديزل وغيرها والتي يصاحبها ارتفاع في درجة الحرارة.

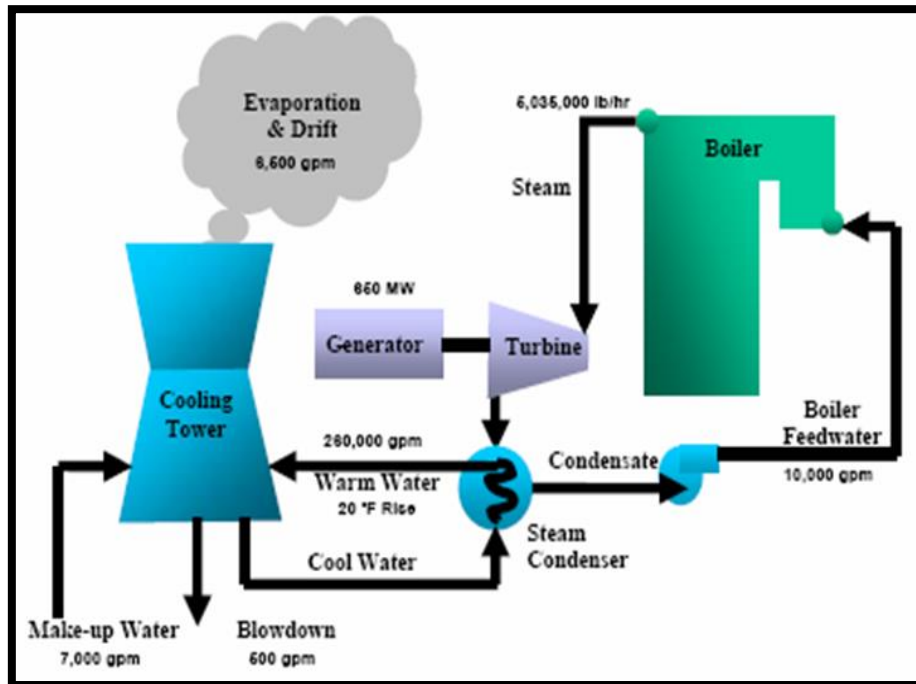
تستخدم في تبريد وتكثيف البخار الناتجة من صناعة بعض المواد الكيميائية (مثل البخار الناتج من صناعة حمض الكبريتيك) كما يستخدم في تبريد حمض الكبريتيك المنتج نفسه والذي يصل تركيزه إلى 98% كما بالشكل التالي:



الصورة باليسار توضح مسار حمض الكبريتيك المركز $\text{Conc. H}_2\text{SO}_4$... حيث يدخل على مبرد Cooler ويتم تبريده بمياه والتي تخرج من المبرد ساخنة لتذهب إلى برج تبريد فيتم تبريدها ويتم تدويرها مرة أخرى للمبرد ... أما الصورة التي باليمين فهي شرح لبرج التبريد وهذا سوف نفرد له مناقشات قادمة.

تستخدم أبراج التبريد في تكثيف المواد المقطرة (Distillates) في أبراج تكرير البترول والبتروكيماويات ... تستخدم في تبريد التربينات turbines والموتورات والضواغط ...

البخار steam الذي تنتجه الغلايات ويستخدم في إدارة التربينات turbine لتوليد الكهرباء يتم تبريده وتكثيفه بمياه التبريد في مكثف condenser ليرجع مرة أخرى للغلاية لتحويله مرة أخرى إلى بخار وهكذا ... ماء التبريد الذي يدخل على الكوندينسر ويسبب تكاثف البخار وتبريده يخرج ساخن ليذهب إلى برج التبريد ليتم إعادة استخدامه مرة أخرى وهكذا ... يظهر ذلك واضحاً في الصورة التالية:

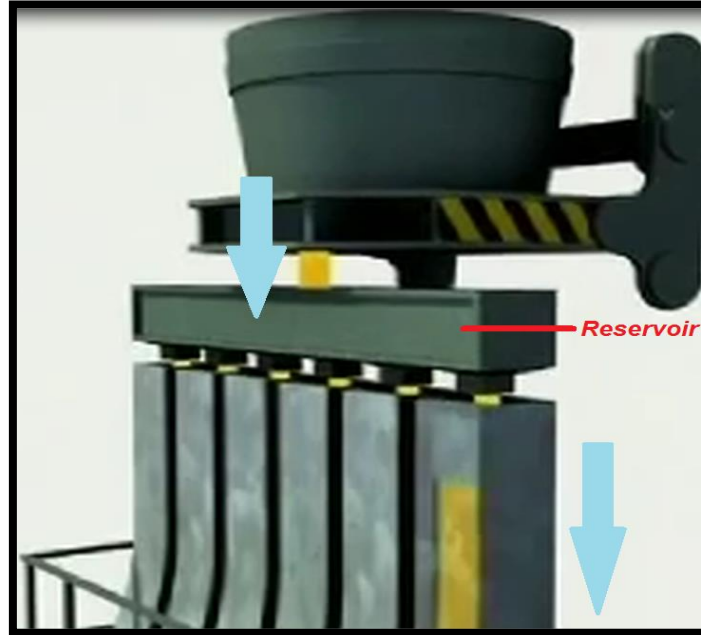


تستخدم أبراج التبريد أيضاً في تبريد أجهزة الأوتوكلاف المستخدمة في التعقيم على مدى كبير (كتعقيم أكياس الأمصال serum التي تستخدم الضغط والحرارة).

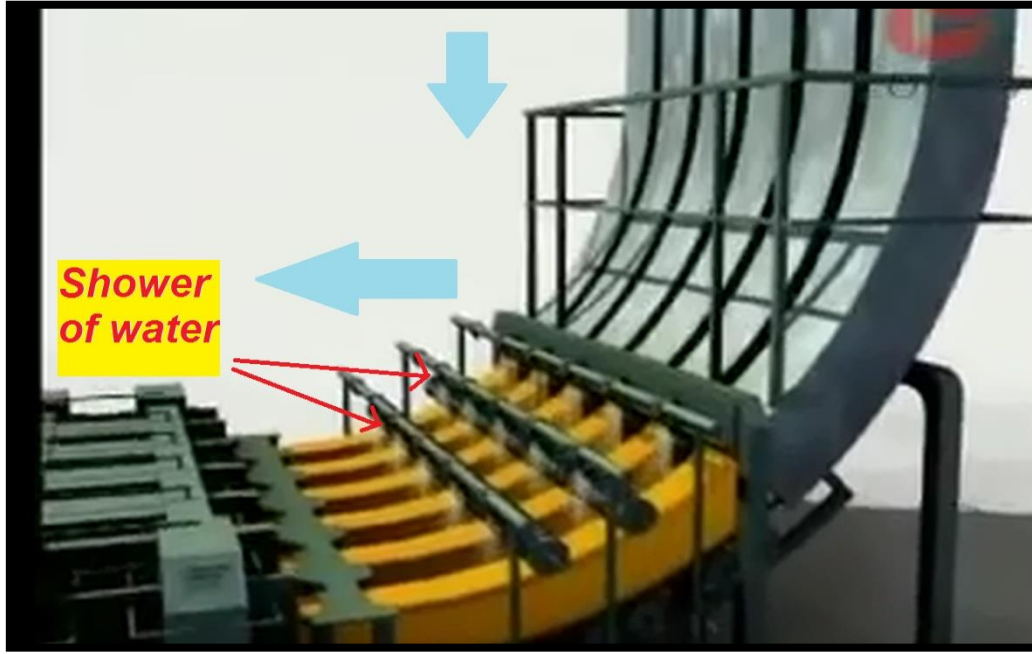
بنجر السكر مثلاً يتم عصره بواسطة ماكينات والتي يتم تبريدها بمياه مع اتصال ببرج تبريد. سيليكات الصوديوم التي تملأ فراغات المباني الخرسانية والتي تنتج بواسطة تمرير البخار الساخن عليها لإذابتها تحت ضغط يتم تبريدها بمياه تبريد من خلال برج تبريد.

الحديد مثلاً في شركات الحديد ينصهر عند حوالي 1500 درجة ويتم تعبئته في قوالب Molds نحاسية حتى يبرد ... لو تركناه يبرد بنفسه فسننتظر 5 - 6 أيام ... أما باستخدام أنظمة التبريد فيتم تبريده في غضون ساعة ... ينعكس ذلك بالقطع على التسريع من الإنتاج وبالتالي تترجم إلى عائد مالي أسرع.

يدخل الحديد المنصهر في reservoir كما يتضح في الصورة التالية ليمر خلال أنابيب tubes رأسية لأسفل:



وفي القاع يحدث وأن يتم تبريد الحديد المنصهر بواسطة shower من مياه التبريد كما بالصورة التالية ... والمياه الخارجة تكون مرتفعة درجة الحرارة فنذهب بها إلى برج تبريد لتبرد وترجع في الدائرة مرة أخرى وهكذا:



ويجب أن تكون كمية المياه وتدفقها بحساب (لو زادت فإن الحديد يتصلب ويتحول إلى بلوكات لن نستفيد بها ... ولو قلت كمية المياه خرج الحديد منصهراً لعدم خفض حرارته بالدرجة المطلوبة مما يؤثر على جودة المنتج) ... لذا يتم تحديد كم طن ماء نحتاجه لخفض حرارة الحديد المنصهر من درجة حرارة كذا إلى كذا.

تعليق المهندس سامر نادر الأسدي:

وفي هذه الحالة تكون دائرة التبريد مفتوحة ومُلامسة للمنتج ... ويتم انتقال المياه بعد ملامستها للمنتج إلى أحواض ترسيب (لترسيب ال scales الناتج من ملامسة المنتج) وبعدها إلى الفلاتر الرملية ومن ثم إلى أبراج التبريد ليتم تبريدها وتجميعها في الخزان لتعود إلى نفس الدائرة ويتم الأخذ في الحسابات عند التصميم لهذه الدائرة أن يكون برج تبريد احتياطي بالإضافة للأبراج الموجودة قيد الخدمة.

البلاستيك هو الآخر في صناعته يحتاج لمياه تبريد ... فالمعروف أن المواد الثيرمو بلاستيك التي تتضمن البولي بروبيلين والنايلون والPET هي مواد صلبة عند درجة حرارة الغرفة ... ولإعادة تشكيلها كما نريد نرفع حرارتها للتحويل إلى مادة ذائبة يسهل تشكيلها في قوالب ... وبعد أن نصبها في القوالب يتم تبريدها بمياه التبريد للتحويل مرة أخرى إلى الحالة الصلبة.

أيضاً ... بعض الآبار تخرج منها مياه درجة حرارتها مرتفعة جداً قد تصل لأعلى من الخمسين درجة مئوية وقد تصل إلى ثمانين كأنها مياه مغلية أو تقترب من الغليان ... فهذه تحتاج أيضاً إلى برج تبريد أو مبادلات حرارية مع برج تبريد حتى لا تدخل بهذه الحرارة على الفلاتر والأغشية فتدمرها ... وإنتاجية المياه المبردة الخارجة من البرج تحدد حجم البرج المطلوب ويجب أن تكون نفس حجم الفيد الذي يدخل على وحدة التحلية.

أبراج التبريد تستخدم كذلك في مصانع الدرفلة ومصانع الجلجنة والتكييفات المركزية ذات السعة الكبيرة وثلاجات التخزين الكبيرة والصناعات الغذائية كمصانع تعبئة الخضروات ومصانع اللحوم والدواجن والأسماك وكنزات السلمون والعصائر وغيرها.

ولو هناك مصنع مخلفاته مياه تخرج بدرجة حرارة عالية تسبب تلوث حرارى للمياه فنلجأ لعمل تبريد للمياه حتى لا تؤثر على البيئة المائية ... أو يتم عمل شكل على هيئة سلاسل تنزل عليها المياه مثل الشلالات أو النافورة لتتخفف حرارتها.

تعليق المهندس محمد بيومى بسيونى:

أحب أن أضيف معلومة مهمة ... وهي أن التبريد قسم أساسي من أقسام مصانع الأدوية ... بل أحب أن أذكر قاعدة شائعة في مجال صناعة الأدوية وهي (مصنع الدواء مياه وهواء) ... ولابد أن نعلم أن التبريد موجود في مصانع الدواء لتبريد الهواء باستخدام الدوائر المغلقة (التشيلر) أو الدوائر المفتوحة (أبراج التبريد) ... ووجود التبريد في مصانع الأدوية مهم جداً لاتمام عملية صناعة الدواء بل وأقول لكم وكلي ثقة ... أنه بدون تبريد لن يكون هناك صناعة دواء نهائياً لأن صناعة الدواء تتم تحت ظروف معينة من درجات الحرارة والرطوبة والمتحكم الأساسى في درجات الحرارة والرطوبة هي التبريد ... وكذلك لابد من وجود التبريد للحفاظ على درجات الحرارة للمياه داخل تنكات تخزين المياه ال purified سواء استخدام مبادل حراري heat exchanger يتم تركيبه على خطوط توزيع المياه أو باستخدام تنكات تصنع بطريقة معينة (دبل جاكيت Double jacket) تسمح بتبريد المياه والحفاظ على درجة حرارتها لأقل من 25 درجة مئوية طبقاً لما تذكره منظمة الصحة العالمية (WHO) لذلك وجود التبريد في مصانع الدواء أمر لا يمكن الاستغناء عنه.

تعليق المهندس شُعيب محمود شعبان:

أبراج التبريد من الأجزاء المهمة في أنظمة التكييف المركزي ... فهي تُركب في أنظمة التكييف المركزي التي يتم تبريد مكثفها بالماء ... وكلما كان أداء أبراج التبريد جيداً كلما كان أداء دائرة التبريد جيد ... وتستخدم أبراج التبريد مع المكثفات المبردة بالماء لخفض درجة حرارة الماء المستخدم كوسيط تكثيف بعد اكتسابه الطاقة الحرارية المفقودة من المكثف.

ويُكمل المهندس شُعيب محمود شعبان:

أسباب استخدام أبراج التبريد :

1- في وحدات التبريد والتكثيف الكبيرة مثل محطات التكييف المركزية central air conditioning حيث يلزم

كمية كبيرة من الماء لتبريد سائل التبريد .

1- إذا كانت درجة حرارة الماء الداخل للمكثف مرتفعة نسبياً فيلزم في هذه الحالة كمية كبيرة من المياه سواء

أكانت وحدة التبريد متوسطة أو كبيرة .

2- في حالة ارتفاع ثمن المياه في بعض البلدان.

تعليق المهندس علاء محمد إبراهيم صباح:

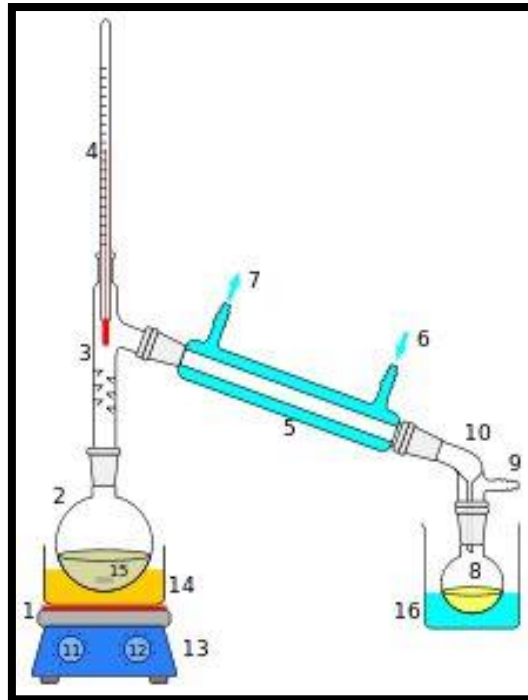
عملية التبريد لها دور أساسي في تحلية المياه بالطاقة الحرارية ... ففي التحلية بالتقطير الومضي MSF يتم التبريد بنظام Tube-side cooling ... حيث تكون مياه التغذية داخل الأنابيب وتقوم بتبريد البخار لإنتاج المياه المحلاة ... ويكون اتجاه التبريد من الغرف الأخيرة حتى الأولى مروراً ب Brine Heater ... فتقوم بعملية تكثيف للبخار واكتساب للحرارة وتكون في حدود 100 قبل دخولها Brine Heater ... وفي التحلية متعددة التأثير MED يتم التبريد بنظام shell-side cooling ... فيكون البخار داخل الأنابيب ومياه التغذية خارجها ... فتتساقط المياه على أنابيب البخار بالجزء الأول للوحدة (التأثير) ويحدث تبخير لجزء من الماء ويدخل البخار في أنابيب التبريد لإحداث عملية التأثير بالمرحلة الثانية وتبخير للماء وهكذا.

تعليق المهندس أيمن عوني عيد:

لكل وحدة استخداماتها فلبرج التبريد دور وأداء مختلف عن الشيللر فكل مواصفات مختلفة ووظيفة مختلفة في الإحتياج لمعدلات التبريد المطلوبة ولكل منهم تعامل مختلف من ناحية المعالجة.

تعليق المهندس عادل عبد الحليم السلايمة:

من التطبيقات التي تستعمل الماء في التبريد هو تحضير الماء المقطر الخالي من أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم لاستخدامه في المختبر للتخفيف والتحضيرات المختلفة وتتلخص العملية بغلي الماء لدرجة التبخير ومن ثم تعريضه لماء بارد يعمل على تكثيف البخار وإنتاج ماء خالٍ من أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم.



ولمزيد من المعلومات حول عملية التقطير Distillation من الرابط التالي:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Distillation#History>

تعليق المهندس أيمن موسيليني عارف:

ولكي نحافظ على دوائر التبريد بكل مشتملاتها فلا بد من فهم جيد لطبيعة المياه المستخدمة سواء داخل دائرة التبريد أو مياه التعويض وميولها للترسيب أو للتآكل ومن ثم وصف العلاج اللازم بعمل برنامج معالجة يناسب طبيعة المياه داخل دائرة التبريد.

المهندس محمد جابر جاهين:

كذلك يتوقف إنتاج الكهرباء إذا توقفت أبراج التبريد في محطات القوي.

النقاش القادم:

لماذا اخترنا الماء في التبريد دون السوائل الأخرى؟؟؟
مصادر المياه المستخدمة في أبراج التبريد.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

2

التبريد

بالماء

ومصادرها!



النقاش الثاني:-

2- لماذا التبريد بالماء؟ وما هي أفضل مصادرها؟

قبل المواضيع الدسمة نطرح اليوم موضوعين بسيطين ... لكن قد يكون لديكم تعليقات كثيرة من واقع خبراتكم بهذين الموضوعين.

الموضوع الأول:

لماذا اخترنا الماء في التبريد دون السوائل الأخرى؟؟؟

الموضوع الثاني:

مصادر المياه المستخدمة في أبراج التبريد:

الموضوع الأول: لماذا اخترنا الماء في التبريد دون السوائل الأخرى؟؟؟

المياه رخيصة الثمن ومُتاحة في أغلب الأحيان (خاصة من المياه السطحية) ... سهلة التداول ... تمتاز بكثافة نوعية متوسطة ولزوجة متوسطة مما يجعلها سهلة الاستخدام ... وأهم المميزات أن لها سعة حرارية $heat capacity$ عالية أكثر من السوائل الأخرى (يعنى باختصار ودون الخوض في التفاصيل التيرموديناميكية نقول أنها تستوعب وتمتص كمية كبيرة من الحرارة في مقابل ارتفاع في درجة الحرارة أقل من السوائل الأخرى ... لذلك فهي ممتازة في التبريد).

أما الحرارة النوعية $specific heat$ فهي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 جرام من المادة درجة مئوية واحدة ... ولأن الماء له سعة حرارية كبيرة فإن الحرارة النوعية له أكبر من غيره ... بمعنى أن كمية حرارة معينة لو أعطيتها مرة للزيت ومرة للماء فإن درجة حرارة الزيت ترتفع بصورة أكبر من الماء (مع ثبات حجم السائلين). ولذلك الحرارة النوعية تُعرف بأنها السعة الحرارية لجرام واحد من المادة.

وهكذا الماء تمتص كمية كبيرة من الحرارة دون أن ترتفع درجة حرارتها بشكل ملحوظ ... ولهذا فكلنا قلنا أنها ممتازة في التبريد ...

وهذا جدول يعطى مقارنة في الحرارة النوعية بين السوائل وبعض المواد الصلبة فنجد الماء السائل هو أول الفائزين:

Specific Heat

The amount of heat required to raise the temperature of one gram of substance by one degree Celsius.

Substance	Specific Heat (J/g · K)
Water (liquid)	4.18
Ethanol (liquid)	2.44
Water (solid)	2.06
Water (vapor)	1.87
Aluminum (solid)	0.897
Carbon (graphite, solid)	0.709
Iron (solid)	0.449
Copper (solid)	0.385
Mercury (liquid)	0.140
Lead (solid)	0.129
Gold (solid)	0.129

تعليق المهندس أحمد حميدة سليم:

من الأسباب أيضاً سهولة ال handling وعدم وجود مخاطر في التعامل مع الماء المستخدم ك coolant مقارنة بغيره من السوائل التي يمكن استخدامها في التبريد.

تعليق الدكتور فتحي محمد محمد أحمد:

الماء أكثر السوائل حرارة نوعية وبالتالي يتحمل الارتفاع في درجة الحرارة بمعنى أن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من هذا السائل أعلى بكثير من باقي السوائل.

تعليق المهندس سعيد جمعة سعيد:

من خصائص الماء أن له حرارة نوعية عالية لذلك من أفضل الموانع في التبريد. الحرارة النوعية: يتميز الماء بأنه يمتلك درجة حرارة نوعية عالية ... وهي كمية الطاقة المطلوبة لتغيير درجة حرارة المادة ... لذا يستطيع الماء استيعاب كميات كبيرة من الطاقة الحرارية قبل أن يصبح ساخناً ... كما أن هذا يعني أن الماء يقوم بإطلاق الطاقة الحرارية ببطء عندما يتم تبريده من الظروف المحيطة ... وتساعد هذه الخاصية الكائنات الحية على تنظيم درجة حرارة جسمها بشكل أكثر فعالية ... كما وتساعد على جعل مناخ الأرض معتدلاً.

رد المحاضر:

الفرق بين تسخين نفس الحجم من الماء أو الحديد ... من يسخن أولاً؟؟

تعليق المهندس سعيد جمعة سعيد:

الحديد يسخن أولاً ... لكن الماء حتى يسخن لنفس درجة الحرارة يحتاج إلي كمية أكبر من الحرارة ... ويُفضل استخدام الماء في التبريد وذلك لأن حرارته النوعية عالية جداً مما يجعله قادر علي امتصاص كمية كبيرة من الحرارة لرفع درجة حرارته وكذلك فهو متاح ورخيص.

تعليق المهندس أيمن عوني عيد:

لذلك في الأبراج التي تستخدم الأمونيا في التبريد (evaporative condensers) نُوصي دائماً باستخدام المياه أولاً في تبريد الأمونيا وان لم تكفي تدخل المراوح الهوائية لسحب ال latent heat من الماء لكن تفضل المياه لها الأولوية للتبريد كذلك في حالة الاعتماد علي الهواء أولاً في التبريد ده يسبب ارتفاع نسب الترسبات علي المواسير بسبب تبخر رذاذ المياه الذي يبقى علي سطح المواسير للبرج أما تدفق المياه باستمرار يضمن توزيع الكيماويات علي سطح المواسير (tube bundle) فيقلل الترسبات

تعليق المهندس أيمن موسيليني عارف:

اختيار الماء للتبريد لأنه يملك أكبر سعة حرارية بين جميع المواد..

تعليق المهندس حسين العرسالي:

الماء متوفر بكثرة رخيص الثمن ... صديق للبيئة حيث ينطلق جزء منه الى الجو المحيط عديم السمية

تعليق المهندس ناجي سعيد عبد المطلب:

يمتاز الماء عن باقي السوائل الاخرى بعدة مميزات ... أولها ارتفاع الحرارة النوعية للماء مما يجعله من أفضل السوائل في انتقالية الحرارة ... وثانيها أنه متوافر بكثرة ... ثالثها رخص التكلفة مقارنة بالسوائل الاخرى.

تعليق المهندس مروان خميس هاشم المفتش:

ليس لرخصه فقط ... لأن خاصية الماء تتغير خواصها عند درجة ٧ مئوية وتتجمد عند ٣ مئوية ... وبخصوص الحرارة تتغير خواصها ابتداءً من درجة ٨٠ مئوية إلي درجة الغليان كما أن الماء يتغير درجة حرارته من بارد إلي حار أو بالعكس بسرعة كبيرة حيث يمتص درجة حرارة المحيط به ويفقدها بتعرضه للعكس ... وهذا مما يجعله السائل المثالي للوسائط المراد تبريدها ... طبعاً يُضاف إليه مواد أخرى مثل الملح لمنع التجمد وسوائل لمنع ترسب الأملاح وتكون الصداً داخل أبراج التبريد أو المبادلات الحرارية وخاصة تشيلرات التبريد.

الموضوع الثاني: مصادر المياه المستخدمة في أبراج التبريد:

في عجلة سريعة وسيتم التفصيل بعد ذلك ... أفضل نوع هو مياه البلدية City water ... وهي مياه يسرة Soft water مصدرها أحد الأنهار (نهر النيل مثلاً) أو البحيرات ... نعلم فنقول المياه السطحية ... أما المياه المنزوعة الأملاح Demi-water فهي خطيرة لأن الأس الهيدروجيني لها من 5 - 5.5 نظراً لشراحتها في امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الجو والذي يتحول إلى حمض الكربونيك الذي يسبب التآكل corrosion بعد ذلك ... ومن الممكن استخدام هذا النوع من المياه بعد معالجتها ورفع الـ pH ولكن ذلك يتطلب تكلفة عالية ... نتكلم هنا عن أبراج التبريد ... ولكن من الممكن أن يتم استخدامها في الدوائر المغلقة أو الشيللات مع استخدام كيماويات معالجة خاصة كما سنشرح بعد ذلك ... أيضاً عندما نتكلم عن مانع التآكل ... نجد أن الكالسيوم في المياه له دور في مقاومة هذه ظاهرة التآكل ويوفر من استخدام موانع التآكل التي نضيفها ... وتحرمنا المياه المنزوعة الأملاح من هذه الميزة.

أيضاً لا يُفضل استخدام مياه الآبار في منظومة التبريد لأنها كثيراً ما تحتوي على الحديد والمنجنيز اللذان يسببان الفاولينج مالم يتم عمل معالجة أولية بجانب أن مياه الآبار محدودة الكمية ... ولذا كانت المياه السطحية هي المُفضلة (ومياه البحر تستخدم في التبريد في بعض الحالات كما سيأتي بعد ذلك وسنفرد لها مناقشة خاصة).

تعليق المهندس علاء محمد إبراهيم صباح:

لا يُسمح بترخيص لدوائر التبريد المفتوحة على المجاري المائية إلا بشروط معينة بما لا يؤثر على البيئة المائية من ضمنها ألا تزيد درجة الحرارة عن فرق معين ... وفي مصر يُشترط ألا يزيد فرق درجة الحرارة عن ثلاث درجات ... ويتم أخذ عينات دورية لمعرفة الصحة وتحليلها كاملة وقياس درجات الحرارة.

تعليق المهندس جمال جُمعة:

غالباً ما تُقام المعامل والمصانع التي تحتاج إلى مياه التبريد على ضفاف الأنهار والبحيرات. ليقوم بسحب المياه منها والقيام بالتبريد ثم إعادتها وهي ساخنة نوعاً ما وهذه الحرارة تؤثر سلباً على البيئة المائية لهذا النهر أو لهذه البحيرة ويقوم بقتل بعض أنواع من الأحياء لا تستطيع التكيف مع الوضع الجديد ... عدة منظمات وجمعيات بيئية عالمية تُحارب هكذا نوع من التبريد ولكن للسياسة والاقتصاد كلام آخر.

رد المُحاضر:

يظهر ذلك أكثر في الدوائر المفتوحة ونظام الـ Once through والتي سنتحدث عنه بعد ذلك ... أما الدوائر المغلقة فتأثيرها على البيئة أضعف لأن المياه الخارجة كميتها لا تذكر مقارنة بالنظام المفتوح.

تعليق المهندس أحمد بن عمر طعم الله :

لكن هناك قوانين وتشريعات تحدد جودة المياه قبل سكبها في البيئة المائية ... في تونس لا يُسمح أن تتفوق الحرارة 35 درجة مثلاً.

المُحاضر:

ممكن اقتراح حلول أو اظهار حلول عملية تمت بالفعل ... هل يتم الخلط مع مصدر المياه لتقليل الحرارة؟

تعليق المهندس جمال جمعة:

عملياً تبحث ادارات المعامل الى أرخص الطرق ... وأرخصها هي استخدام المياه في التبريد المفاعلات ومعامل مصانع الحديد وغيرها من المعامل التي تحتاج الى مياه للتبريد. ولسؤالك هل يتم الخلط مع مصدر المياه لتقليل الحرارة؟ أستطيع أن أقول إذا قمت بتصفية المياه من الأحياء الموجودة فيها وتخزين المياه في خزانان ... وبعدها تقول بالخلط وارجاعها إلى البحيرة مثلاً ... أقول لك نوعاً ما نكون قد قمنا بحماية النهر أو البحيرة ... لكن غير ذلك باستخدام المضخة ومزج المياه قبل ارجاعها ... في هذه الحالة نكون قد كلفت مادياً أكبر ونفس النتيجة ... وهي قتل الأحياء في المياه.

تعقيب المهندسة سمية طه:

اتفق ... أننا لو عملنا خزان كبير فيه هدار من المنتصف سيقبل درجه الحرارة ومن الممكن يكون تعويض للبرج مرة أخرى أو حتي لو صرفناه علي البحر فلن نؤثر علي الأحياء المائية.

سؤال المحاضر:

وما هي الحلول العملية؟؟

رد المهندس علاء محمد إبراهيم صباح:

تكون في التصميم ... حيث تكون هناك منطقة مفتوحة تسمح بتقليل الحرارة بجانب طول الخطوط وتكون تحت سطح الأرض بما يسمح بتبريد المياه الخارجة ... أيضاً كمية المياه المستخدمة بالتبريد ... وحساب الكمية الكافية لتحقيق فرق الحرارة.

تعليق المحاضر:

فلنراجع قانون البيئة المصرية المعدل لسنة 2015 الخاص بالصرف من ناحية درجات الحرارة:

مع مراعاة الأحكام المنصوص عليها في القانون رقم ٤٨ لسنة ١٩٨٢ بشأن حماية نهر النيل والمجارى المائية من التلوث ولائحته التنفيذية، يشترط ألا تتجاوز مستويات الصرف للمواد المبينة بعد عن المستويات الموضحة قرين كل منها ، مع مراعاة عدم حدوث نحر نتيجة سرعة التدفق وعدم الإضرار بالبيئة القاعية، وذلك وفقاً للاشتراطات والأسس التي يحددها جهاز شئون البيئة. ولا يسمح بالصرف في مناطق صيد الأسماك أو مناطق الاستحمام أو المحميات الطبيعية بما يحافظ على القيمة الاقتصادية والجمالية للمنطقة .

في الحالات التي يزيد أو يقل فيها تركيز المواد الصلبة الذائبة عن المستويات الموضحة بالجدول التالي، يتم إعداد دراسة تقويم الأثر البيئي على البيئة المائية المحيطة بموقع الصرف طبقاً للاشتراطات والأسس التي يصدرها جهاز شئون البيئة بعد موافقة مجلس إدارته .

البيان	الحد الأقصى للمعايير والمواصفات ملليجرام/ لتر - ما لم يذكر غير ذلك
درجة الحرارة	لا تزيد عن خمس درجات فوق المعدل السائد بحد أقصى ٣٨°م
الأس الأيروجيني	٩-٦
اللون	خالية من المواد الملونة
الأكسجين المذلول	٦.٠

تعليق المهندس إسلام غريب أبو بكر:

في بعض الأماكن تستخدم مياه المعالجة من محطات الصرف الصحي ... وفعلاً في حالة استخدام مياه الآبار يتم عمل وحده معالجة للحديد خاصة إذا كانت نسبته عالية.

رد المحاضر:

صحيح ... لكن يجب الحفاظ على درجة عالية من المعالجة لمياه الصرف ونركز على ثلاث أمور نسبة التعقيم ونسبة الأملاح (أملاح الصرف العادية قد تصل إلى أكثر من 5000 جزء في المليون في بعض الأماكن) ونسبة الزيوت في المياه وإلا ستؤدي إلى كوراث ... فيجب أن تكون المعالجة للصرف الصحي فيها احتراس وضوابط كبيرة.

رد المهندس إسلام غريب أبو بكر:

نعم فعلاً ... لكن غالباً محطات الصرف تكون بتقنية الـ MBR بحيث تكون المياه المعالجة علي نسبة عالية من المواصفات المناسبة.

تعليق المهندس سعيد جمعة سعيد:

من مصادر المياه التي تستخدم في التبريد: مياه الأنهار والآبار وكذلك مياه المعالجة من الصرف الصحي.

تعليق المهندس أيمن موسيليني عارف:

مصادر المياه:

- 1- ماء البحر ومن مميزاته أنه لا يحتاج إلى معالجة مكلفة ... وأحد عيوبه الكبيرة أن الماء الرجيع غير مطابق للبيئة من حيث الحرارة وتأثيره على الكائنات الحية.
 - 2- مياه جوفية ... عيوبها كما ذكرت ارتفاع الحديد والمنجنيز أحياناً ووفرته صعبة ومكلفة جداً ... ومميزتها أن لها ثبات في الحرارة.
 - 3- مياه النيل ... وهذه أكبر مميزاتها الوفرة وإنخفاض الأملاح الذائبة ... وعيوبها ... عدم ثبات الحمل الحراري واحتوائها على أحمال عضوية وعكارة ... لذا تحتاج إلى معالجة قبل استخدامها كتعويض لأبراج التبريد وتحتاج معالجة داخل أبراج التبريد للتحكم في التآكل والترسيب ونمو البكتيريا والفطريات.
- بالنسبة للمياه منزوعة الأملاح وحدها لا تصلح في أبراج التبريد ...
- أولاً لأنها لا تحتوي على أي قلوية أو كالسيوم ... وأي برنامج معالجة يعتمد على وجود قلوية وكالسيوم في حدود معينة حسب برنامج المعالجة ودورات التركيز ... ولكن ممكن يتم خلط جزء من المياه منزوعة الأملاح لزيادة دورات التركيز ومن ثم خفض معدلات التفوير ... وعليه سيتم خفض استهلاك الكيماويات المضافة للبرج وبالتأكيد إنخفاض القلوية والكالسيوم للحد الأدنى سيحسن أداء التشغيل ويمنع احتمالية الترسيب في المبادلات الحرارية ... وبالفعل نظام الخلط معمول به في أماكن كثيرة ... وبالفعل هناك توفير كبير جداً في الكيماويات وفقد المياه عن استخدام مياه النيل وحدها دون خلط حتي أن مياه التفوير يمكن إعادة استخدامها للبرج بعد إدخالها على وحده RO.

تعليق المهندس ناجي سعيد عبد المطلب:

أما عن مصادر تغذية أبراج التبريد فهي متعددة منها مياه الأنهار وتعتبر أفضلها من حيث إنخفاض معامل التآكل وتوازن الأملاح بها إلا أنها قد تميل إلى الترسيب إذا لم تتم المعالجة بصورة سليمة وثانيها المياه الجوفية والتي تكون أملاحها في الحدود المسموح بها من قبل مصنعي برج التبريد أو تخفيض أملاحها قبل استخدامها عن طريق محطات ال RO أو DI ... كما يمكن أيضاً تحلية مياه البحار بنفس الطرق واستخدامها ... المحصلة النهائية أن تتطابق مواصفات المياه مع المواصفات الخاصة ببرج التبريد والتي تختلف من نوع لآخر حسب المصنع وأيضاً حسب نوع المادة المصنوع منها البرج مع اختيار برنامج المعالجة الأمثل.

النقاش القادم:

دوائر التبريد تعتمد على التبخير والمتمثلة في أبراج التبريد ... ودوائر تبريد لا تعتمد على التبخير ... تابعونا !



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

3

تقسيم

دوائر

التبريد!!



النقاش الثالث:-**3- تقسيم دوائر التبريد!**

قبل الحديث عن الضيف المنتظر ... "برج التبريد" ... سنتحدث عن بعض التقسيمات لدوائر التبريد في هذا النقاش ... ثم نبدأ الحديث عن برج التبريد يوم الإثنين القادم بعد عيد الأضحى المبارك إن شاء الله ... وكل عام وحضراتكم بألف خير.

تم تقسيم دوائر التبريد حسب الاعتماد أو عدم الاعتماد على التبخير كالتالي:

1- نظام تبريد غير تبخيري Non- evaporative cooling system:

وهذا النظام لا يحدث فيه تبخير للمياه أو بمعنى أدق ... لا يوجد فقد في المياه المتبخرة إن حدث واستخدم فيه التبخير وينقسم إلى نظامين:

أ - نظام تبريد المرة الواحدة Once through cooling system.

ب - نظام التبريد المغلق Closed cooling water system وأشهرها الشيلرات chillers.

2- نظام تبريد تبخيري Evaporative cooling system:

وهو نظام التبريد المفتوح Open recirculating cooling water system الذي يعتمد على التبخير لتبريد المياه ... يتمثل هذا النظام في برج التبريد وله عدة أنواع سنذكرها بعد ذلك.

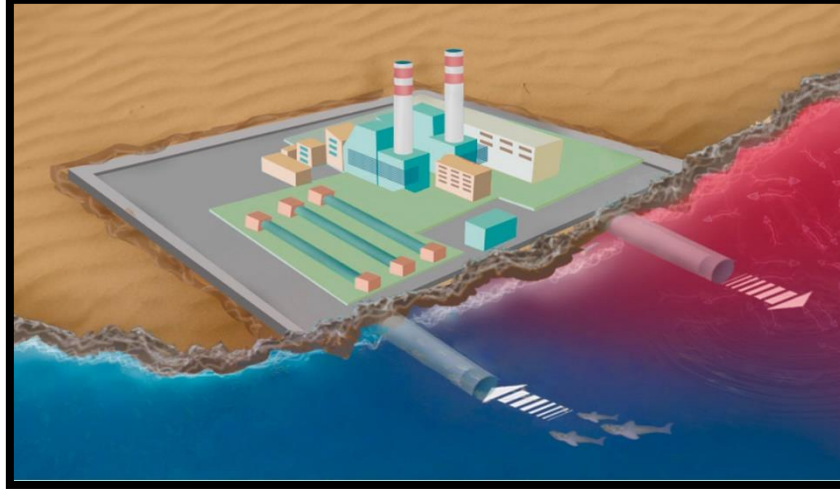
ونتكلم الآن في هذا النقاش عن الأنظمة التي لا يحدث فيها تبخير ...

1- نظام تبريد المرة الواحدة Once through cooling system:

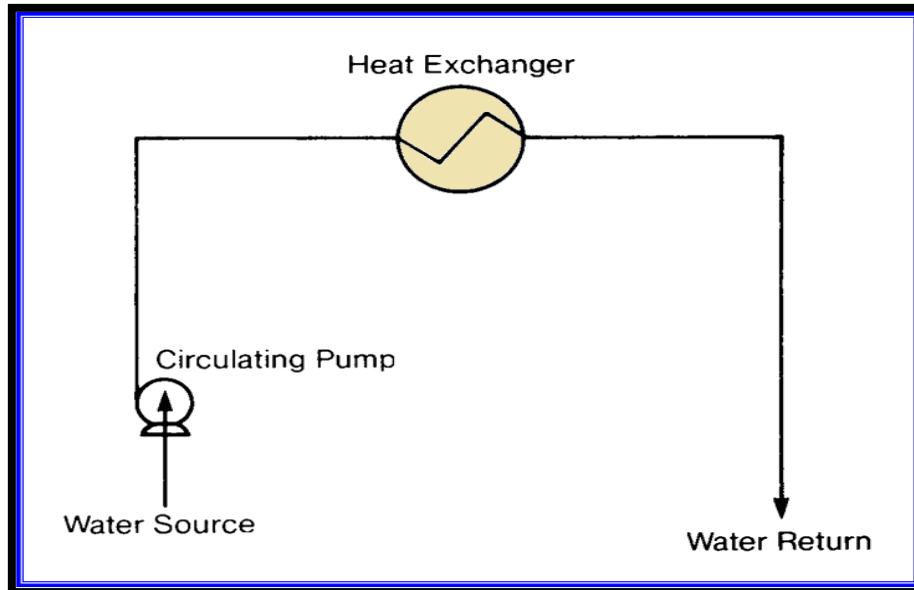
بأخذ المثال الذي تحدثنا عنه في النقاش الأول ... الشراب الساخن في الكوب ... عندما تمر المياه التي نبرد بها على جدران الكوب من الخارج ... تمتص المياه الحرارة وتنزل إلى الصرف ... معني ذلك أننا نستخدم المياه مرة واحدة ... نأخذها من المصدر ونستخدمها في التبريد عبر مبادل حراري Heat exchanger ثم نلقي بها في الصرف إلى المصدر مرة أخرى.

يستخدم هذا النظام مع توافر مياه متاحة ورخيصة وأهمها مياه البحر ... لذا يتم استخدامها في تبريد محركات السفن في عرض البحر أو في الشركات التي تقع أمام البحر حيث يتم استخدام المياه في التبريد ثم يتم صرفها مرة أخرى إلى البحر تحت عدة قيود ... ولذلك نقول "once" ... والمعالجة الأولية تتلخص في الفلترة للمواد العالقة الكبيرة (Screening or filtering) بجانب استخدام الكلور في التعقيم ... في المعتاد لا يتم معالجة المياه الداخلة بكل تفاصيلها لأن ذلك يكون مكلفاً جداً ... والأفضل هنا تغيير المبادلات كلما تلفت بدلاً من حقن كيماويات لمحاربة التآكل وتكون الفشور والبياوفاولينج ... والأفضلية هنا إقتصادية ... هذا النظام مهم جداً لاستخدامه في مصانع الحديد والصلب ومصانع الورق ومحطات الطاقة وشركات البترول والمحطات النووية ... فلا يصلح مثلاً إنشاء هذه المحطات داخل

البلاد بعيدة عن البحر أو في الصحراء لأننا سنضطر إلى أخذ مياه جوفية من الآبار وهذا غير منطقي ... ويُعد استنزاف للمخزون الجوفي ... وفي هذه الحالة نلجأ إلى منظومات التبريد المغلقة أو المُعاد تدويرها التي سنحكي عنها بعد قليل.



ولهذا النظام مزاياه ... أن التغيرات التي تطرأ على المياه من ناحية ارتفاع الحرارة أو تغير الـ TDS لا تهمنا كثيراً لأننا لن نستخدمها مرة أخرى ... وبما أنه لا يوجد تبخير فلن يكون هناك تركيز في المواد الذائبة أو العالقة وبالتالي لا نحتاج لمعالجة كيميائية داخلية ... كما أن هذا النظام لا يحتاج لتتكات تخزين لمياه التغذية ... وإن كان من عيوب هذا النظام أن ارتفاع درجة الحرارة للمياه التي يتم صرفها على البحر (Outtake) تؤثر على البيئة وتواجد الأسماك والكائنات البحرية فيما يُعرف بالتلوث الحراري Thermal pollution ... ولكن هذا الارتفاع في الحرارة عادة لا يكون كبيراً. أمر هام أيضاً ... أن في هذا للنظام لا نخشى فيه كثيراً من تكون قشور الكالسيوم لأن نسبته قليلة في مياه البحر بالمقارنة بمياه بعض الآبار (يصل في البحر إلى 400 – 500 جزء في المليون ويصل في الآبار إلى تركيزات أكبر من ذلك في كثير من الأحيان).



بعض الشركات للأسف تستخدم هذا النظام مع مياه البلدية City water! فيكون ذلك إهدار كبير لمياه الشرب بجانب التكلفة المادية! وبعض الزملاء على المنتدى يدركون المأساة فيما يحدث على أرض الواقع جيداً.

تعليق المهندس عباس ظاهر صالح:

أنظمة أبراج التبريد:

Once - through system.

Closed - recirculating system

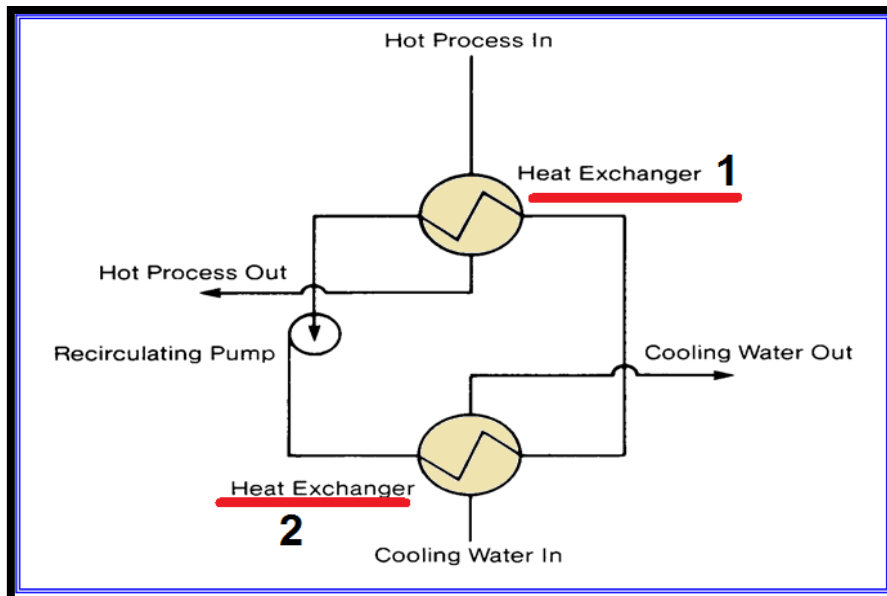
Open - recirculating system

بالنسبة للنوع الأول once through system ... يتم تغذية البرج من الأنهار أو الترعى ويمر المياه داخل البرج للتبريد ونهاية الدورة تكون على نفس المصدر الترعى أو النهر ... مميزات هذا النوع التكلفة القليلة حيث لا يتم معالجة المياه ... أما عيوبه حدوث تلوث حراري لبينة المياه ... لأن المياه الخارجة من البرج تكون حرارتها عالية وتؤثر على الأحياء المائية.

2- نظام التبريد المغلق التدويري:

Closed recirculating through cooling water system

سُمي مغلق لأن مياه التبريد تكون معزولة عن الجو الخارجي ... وتدويري لأن المياه يُعاد تدويرها في دائرة مغلقة ... أو closed loop ... باختصار ... يتم استخدام مياه في تبريد مُعدة أو منتج باستخدام مبادل حراري (Cooler) والمياه الخارجة من عملية التبريد يتم تبريدها هي الأخرى بمياه باردة ... نستنتج من ذلك احتياجنا لعدد 2 مبادل حراري ... واحد لتبريد المنتج أو المُعدة والثاني لتبريد المياه التي استخدمناها في التبريد وتسمى العملية الأخيرة Secondary cooling ... وهذا من عيوبه من الناحية الإقتصادية والتشغيلية ... كما أن نظام التبريد هنا يحتاج لمساحة كبيرة.



أشهر هذه الأنظمة يُطلق عليها التشيلرات Chillers والماء المستخدم يُسمى chilled water ... ولو حدث تبخير للمياه في المنظومة فلن يحدث فقد للمياه المتبخرة كما قلنا ... وسنتحدث بتوضيح أكثر عن الشيلرات بعد ذلك ... ولتبريد المياه الساخنة في المبادل الحراري الثاني نحتاج إلى حسابات معينة حتى يتم التبادل الحراري بطريقة صحيحة كي تنخفض مياه التبريد إلى الدرجة التي نحتاجها في عملية تبريد المعدة أو المنتج مرة أخرى.

بالنسبة لمميزات هذا النظام ... فإن فقد المياه يكون قليلاً جداً يتراوح من 0.5 – 5% من الحجم الكلي لمياه التبريد في المنظومة وتُضاف فقط مياه للتعويض make up بكمية قليلة كما سنشرح بعد ذلك ... لذا نجد أنه لا يوجد احتياج كبير للمعالجة الكيميائية لأن الدائرة مغلقة وتحفظ بالكيماويات (تركيبية الماء تقريباً ثابتة) ... كما أن المياه تتعرض لمعالجة ابتدائية تتضمن نزع الأملاح جزئياً (soft water) لينخفض العسر لأقل من 5 جزء في المليون أونزع الأملاح كلياً (Demi-water) لنتخفف التوصيلية الكهربائية إلى أقل من 5 ميكروسيمنز ... ومن الممكن استخدام مياه محلاة من التناضح العكسي RO أو مياه تم تحليتها بطريقة Desalination ... والتحكم في مشكلة التآكل أو تكون القشور أسهل من الأنظمة الأخرى لثبات كمية المياه نسبياً في هذا النظام المغلق ... كما أن احتمال التلوث البيولوجي من الخارج يكون ضئيلاً جداً ... أيضاً يسهل هنا التحكم في درجة الحرارة وتقليلها من 5 – 10 درجة مئوية.

طبعاً عندما نقول أنه لا يوجد فقد في المياه فهذا يعتبر كلاماً نظرياً لأنه عملياً تحدث تسريبات مثلاً في أماكن الصمامات وغيرها.

يمكن للتشيلرات تحمل منظومات ترتفع حرارتها إلى 93 درجة مئوية وضغوط تصل إلى 200 psi (13 بار). يعيب هذا النظام أنه عُرضة للتآكل وبه نمو بكتيري عالي خاصة لو تم استخدام مواد كيميائية تحتوي على عناصر مغذية من نيتروجين وفوسفات ... إلخ (مثل النيتريت المقاوم للتآكل كما سيأتي بعد ذلك بالتفصيل).

يستخدم هذا النظام مع الضواغط ومحركات الديزل ونظام التشيلرات chillers والرادياتير في السيارة هو أبسط مثال للتشيلرات ... تبادل حراري مع المحرك والمياه ... وتنتقل هذه المياه الساخنة إلى الرادياتير لتنتقل حرارتها إلى مياه الرادياتير ثم ترجع إلى المحرك في دائرة مغلقة closed loop.

تعليق المهندس عباس طاهر صالح:

بالنسبة إلى closed Recirculating system يتم تبريد الماء الساخن في المبادلات الحرارية أو المُكثفات في أبراج التبريد وإعادة استخدامه مره أخرى في دورة مغلقة للمياه ... وتتم عملية تبريد المياه في البرج الذي هو عبارة عن مبادل حراري تجري فيه عملية تبريد المياه الساخنة عن طريق انتقال الحرارة والكتلة من الماء إلى الهواء المار خلال البرج ... ومميزات هذا النوع أننا نستطيع التحكم في درجة الحرارة وال make up ... وعيوبه حدوث تآكل corrosion ونمو بكتيري microbiological growth.

متى تُستخدم التشيلرات؟

- 1- عندما يكون مصدر المياه محدوداً (كالمياه الجوفية).
- 2- عندما تكون العمليات التي نحتاج فيها إلى التبريد لا تتحمل تغيرات قوية في ظروف التشغيل وتحتاج إلى تبريد ثابت أو تحتاج إلى سطح نظيف والذي يحدث فيه الانتقال الحراري.
- 3- إطالة عمر معدة التبريد لأن التحكم في التآكل corrosion هنا يكون أقوى من النظام المفتوح كما سنوضح بعد ذلك.
- 4- وجود قيود على discharge للهواء الصاعد من الأنظمة المفتوحة كأن يكون المكان ضيق أو محيط بمناطق مأهولة بالسكان.

هناك تعبيران لمياه التبريد ... الCooling water و الTempered cooling water!

أما الCooling water فهو ماء يفقد الطاقة الحرارية وتقل درجة حرارته (drop) مثل الماء الذي سبق غليانه من لحظات والماء الذي حدث له رفع درجة حرارته بعد تلامسه مع وسط ساخن ... الماء الساخن القادم من المبادل الحراري ويمر في برج التبريد ويتم تبريده إذاً هو Cooling water.

أما الTempered cooling water أو اختصاراً نقول TCW ... فهو ماء يستخدم في تبريد السوائل (تبريد السوائل التي درجتها أعلى من درجتها المعتادة) مثلما يتم في تقطير منتجات زيت البترول الثقيلة والأسفلت وغيرها ... تبدأ درجات الحرارة لهذه المياه بـ 29 درجة مئوية وترجع بعد تبريد المنتجات إلى (43 – 45) درجة مئوية أقصى حد ... قد تستخدم أيضاً في نظام أبراج التبريد أو في أنظمة مغلقة كالتشيلرات Chillers ... وفيه يتم استخدام 2 مبادل حراري كما ذكرنا.

هناك نوعان من أنظمة مياه التبريد تبعاً لتلامس مياه التبريد مع الجزء الذي نريد أن نبرده:

أ. مياه تبريد مباشرة (Open DCW) Open direct cooling water:

يحدث فيها تلامس المنتج أو المعدة مع المياه كأنك وضعت المياه الباردة داخل كوب المياه الساخنة ... والمياه التي تخرج من هذا النظام تعتبر وتُعامل كمياه صرف صناعي حيث يزيد فيها تركيز المواد العالقة suspended solids لتصل (كمثال) إلى 100 – 200 جزء في المليون في حين أن مياه التغذية لا تتعدى واحد جزء في المليون ... بجانب الزيوت والشحوم oil and grease.

ب. مياه تبريد غير مباشرة (Open ICW) Open indirect cooling water:

لا يحدث فيها تلامس المنتج أو المعدة مع المياه ... كأنك وضعت كوب من المياه الساخنة في وعاء مياه باردة فيحدث انتقال حراري بدون تلامس.

تعليق المهندس شعيب محمود شعبان:

استخدام نظامين للتبريد بالماء:

الأول: نظام امرار الماء لمرة واحدة:

يسحب الماء من نهر أو بركة (مصدر مائي طبيعي وافر) ويمرر على الأجزاء المطلوب تبريدها ومن ثم إعادتها إلى نفس المصدر أو إلى بالوعة ... وعلى الرغم من بساطة العمل بنظام امرار الماء لمرة واحدة إلا أن مساويء هذا النظام كانت عديدة كالتلوث الحراري للبيئة المائية لأن ارتفاع درجة حرارة الماء المطروح يؤثر سلباً في الأحياء المائية ... ومن ناحية أخرى لا يمكن العمل بهذا النظام في المناطق ذات الموارد المائية الشحيحة.

الثاني: نظام الدورة المغلقة:

يتم تبريد الماء الساخن (الذي استخدم لتبريد المكثف أو المبادل الحراري) في برج التبريد وإعادة استخدامه مرة أخرى ضمن دورة مغلقة للماء تتم عملية تبريد الماء في برج التبريد الذي هو عبارة عن مبادل حراري تجري فيه عملية تبريد الماء الساخن عن طريق انتقال الحرارة والكتلة من الماء إلى الهواء المار خلال البرج حيث سيكون انتقال الحرارة الاعظم بشكل بخار ماء يحتوي على طاقة حرارية كامنة مسحوبة من الماء المتبقي مضافاً إلى الهواء المار بالبرج وبذلك يخرج الماء من البرج فاقدًا طاقة حرارية ويخرج الهواء مكتسباً لتلك الطاقة ويتم الاستفادة من الماء ... أما الهواء فيطرح إلى المحيط الخارجي ... وهنا تكمن أهمية استخدام أبراج التبريد في كونها تبرد الماء (مقابل تبخر جزء بسيط من الماء) ثم تعيده إلى الدورة وبذلك توفر في كمية الماء المستخدم وتعد الحل الأمثل لمشكلة شح المياه .

النقاش القادم:

"برج التبريد " وسنبداً الحديث عنه بالتفصيل!!



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

4

أبراج

التبريد!!



النقاش الرابع:-**4- أبراج التبريد (CT) Cooling tower**

نبدأ النقاش بمعلومة ظريفة ... لماذا عندما يشرب أحد الأشخاص الماء من "القلة" كما تجد في الصورة الطريفة في التعليقات يجد الماء بارداً؟؟؟! ... لماذا تبرد المياه في "القُلل"؟؟؟! ...

الجواب ببساطة جسم "القلة" مسامي ... معنى ذلك أن بعض جزيئات المياه تنتقل إلى الخارج عبر هذا الجسم ... وعندما تتعرض للهواء فلا بد وأن تتبخر ... انتقالها من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية يحتاج إلى طاقة ... تأخذ هذه الطاقة من جزيئات المياه المجاورة بالقلة لتنتقل إلى الجو ... فتبرد المياه داخل "القلة"! ... بالتعبير العلمي نقول أن عملية التبخير هي عملية endothermic تمتص حرارة كي تتم ... والحرارة التي يتم اكتسابها لتتبخر جزيئات المياه هي الـ "Heat of vaporization" أو حرارة التبخير أو تُسمى "Latent heat of vaporization" أو "الحرارة الكامنة للتبخير" ... وهي كمية الحرارة اللازمة التي يجب أن تُضاف للمياه لتحويلها من صورة سائلة إلى صورة غازية.



تعليق المهندس محمد عدنان ناشد:

نفس آلية عمل المكيف ... حيث يتم ضغط الغاز الموجود بداخل المكيف عبر ضاغط فيتحول إلى سائل وترتفع درجة حرارته ... وعند وصوله إلى القطعة الداخلية يتم خفض ضغط الغاز فيتحول من السائل للحالة الغازية ويتم بذلك امتصاص الحرارة.

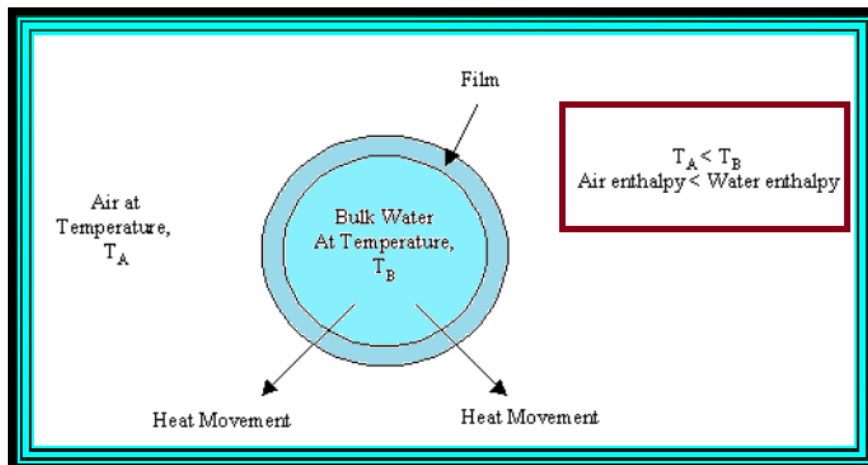
تعليق المهندس أحمد خيرى العزاوي:

يُمكن أن نسمي هذه العملية Heat transfer.

نظرة إلى أبراج التبريد!

- برج التبريد ببساطة هو جهاز أو مُعدة تسحب حرارة غير مرغوب فيها من نظام وتطرحها إلى الهواء الجوي ودائرة برج التبريد تُطلق عليها أيضاً open loop أو دائرة مفتوحة.
- يُطلق علي وصف برج التبريد نظام التبريد التبخيري Evaporative cooling system حيث يعتمد على تبريد المياه بتبخير جزء منها ... ويستخدم في حالة تبريد الأوساط ذات الحرارة العالية جداً.
- دائرة التبريد هنا في برج التبريد تكون نصف مغلقة ... أو إن شئت نقول نظام تبريد مفتوح مع تدوير المياه بشكل متكرر داخل دائرة Open recirculating cooling water system ... كلها توصيفات لبرج التبريد ...
- المياه المسترجعة من برج التبريد أو المُعاد تدويرها نسميها recirculated water أو recycled water.
- برج التبريد هو مُعدة تستخدم في نقل الحرارة الناتجة من العمليات الصناعية عبر الماء إلى الهواء الجوي heat rejection device ... حيث يتم تبريد الماء الساخن نسبياً (أو الدافئ) القادم من المبادل الحراري Heat exchanger (أو المُكثف Condenser) من الوحدات أو المصنع بواسطة هواء جاف وهو أسهل شيء لتبريد المياه ... يتلامس مع المياه ويمتص الحرارة منها ليخرج إلى الهواء الجوي ...
- ولذا فالهواء الجوي هو المبرد refrigerant أو الـ coolant في برج التبريد! أم المياه فهي المُبرد في المبادل الحراري أو المُكثف!
- التبريد في برج التبريد يحدث بسبب ظاهرتين:

- 1- ظاهرة الحمل الحراري Thermal Convection حيث يحدث انتقال الحرارة من الماء إلى الهواء ... حيث تفقد الماء 15 – 20% من الطاقة الكلية الحرارية المفقودة ... انظر إلى الصورة التالية تجد درجة حرارة المياه TB أعلى من درجة حرارة الهواء الجوي TA فيحدث انتقال الحرارة Heat movement من المياه إلى الهواء:



2- تبخر جزء من المياه Evaporation وهو السبب الرئيسي في خفض درجة حرارة المياه (حوالي 75 – 80% من كمية الحرارة الكلية) ... حيث يحمل بخار الماء الحرارة الكامنة للتبخير Latent heat of vaporization ... حيث يكتسبها من المياه المحيطة الغير متبخرة ... وتبخير المياه الموجودة بالبرج يحدث نتيجة أمرين ... الماء الساخن يساعد على تبخر جزء منه ... والهواء الصاعد أيضاً يساعد على تبخر المياه ... وتوجد معادلات لحساب معدل التبخير كما سيأتي بعد ذلك.

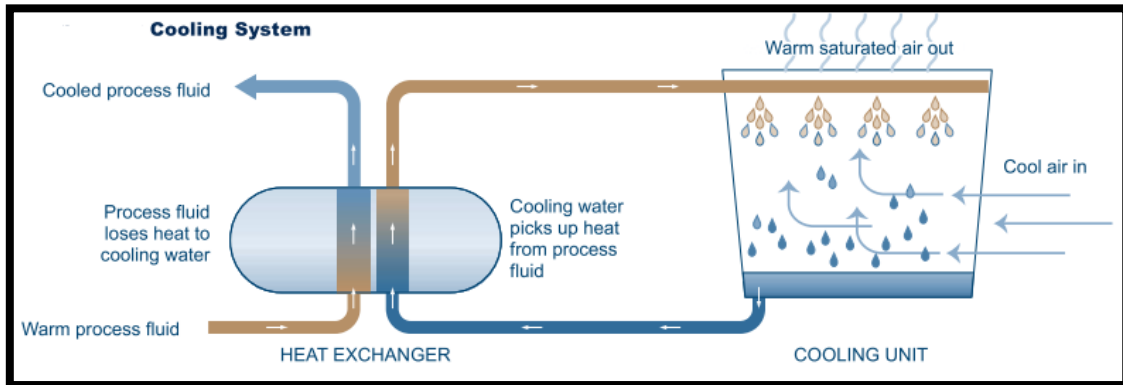
- درجة حرارة المياه لا تنخفض بطريقة مفاجئة في برج التبريد ولكن تدريجياً.
- ووظيفة برج التبريد هذه جعلت البعض يصفه بأنه نوع من المبادل الحراري على وجه الحقيقة ... وإن كان ذلك غير دقيق علمياً وسنعرف لماذا عندما نتحدث عن أنواع أبراج التبريد.
- نستنتج أن منظومة التبريد بأبراج التبريد والدائرة المتصل بها يحدث فيها عملية تبادل حراري في منطقتين:

1- المنطقة الأولى في المبادل الحراري (أو المكثف) بالوحدة أو المصنع.

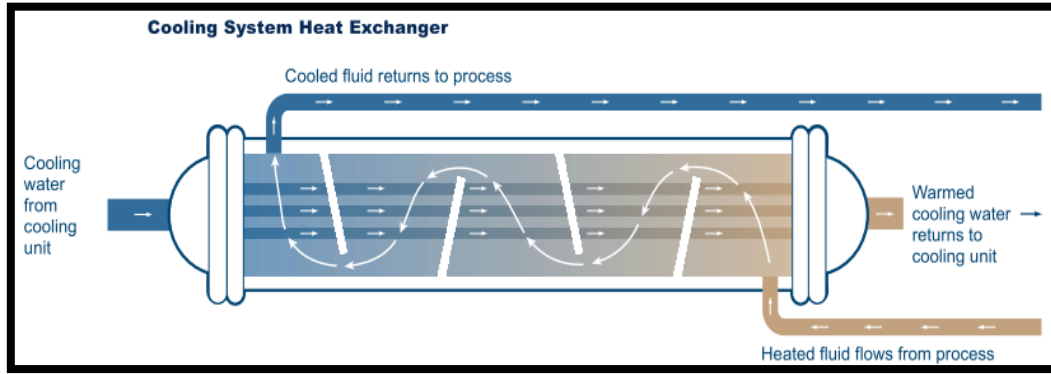
2- المنطقة الثانية في برج التبريد.

في المنطقة الأولى تكتسب المياه الحرارة من المنتج أو المعدة ... وفي المنطقة الثانية تفقد حرارة وتقدمها للهواء فينطلق بها خارج البرج من أعلاه وهو دافئ ومحمل بالبخر.

- المياه التي تم تبريدها وانتزعت منها الطاقة الحرارية ... تسقط ويتم تجميعها في حوض في قاع البرج (Basin) لترجع مرة أخرى إلى المبادل أو المكثف وتقوم بعملية التبريد من جديد ... انظر الصورة التالية تجد المبادل الحراري على اليسار في الوحدة ومنه تنتقل المياه الساخنة إلى برج التبريد (على اليمين):



وهذه صورة للمبادل الحراري تظهر فيه السوائل الساخنة القادمة من العمليات الصناعية (باللون البني) لتتبادل الحرارة مع مياه التبريد وتخرج cooled fluid (باللون الأزرق) لترجع إلى المصنع والعمليات:



تعليق المهندس شعيب محمود شعبان:

شرح مبسط عن أبراج التبريد:

أبراج التبريد عبارة عن مبادلات حرارية تعمل على تبريد المياه بالتبخير في حيز محدود وبكفاءة عالية .

مسألة في التبريد:

درجة حرارة المياه القادمة من المبادل الحراري 45 درجة مئوية ... تدخل على برج التبريد فتقابل هواء ساخن درجة حرارته أعلى من 45 درجة مئوية كما يحدث في الأماكن الحارة بالصيف (قد تصل درجة الحرارة إلى 50 درجة مئوية في بعض دول الخليج في أشد موجات الصيف) ... فما فائدة برج التبريد وقتها؟؟!!
والجواب ببساطة: أن المياه تفقد حرارتها حتى ولو كان الهواء المحيط أعلى في درجة حرارته ... ضع كوب من المياه الساخن في درجة حرارة 40 مثلاً ستجد المياه بعد فترة انخفضت حرارتها إلى أقل من 40 ... ويساعد على ذلك أكثر تكسير المياه إلى قطرات كما يحدث في برج التبريد كما سنرى بعد ذلك فتتسع المساحة المعرضة للهواء وتنتقل الحرارة عبر سطح القطرات إلى الهواء وتنخفض لأقل من 30 درجة مئوية ... ويبقى برج التبريد محتفظاً بوظيفته ولا يفقدها! ولكن بالطبع كفاءة التبريد وسرعته تقل عن البرج الذي يتعرض للهواء جوي بارد.

من مميزات برج التبريد:

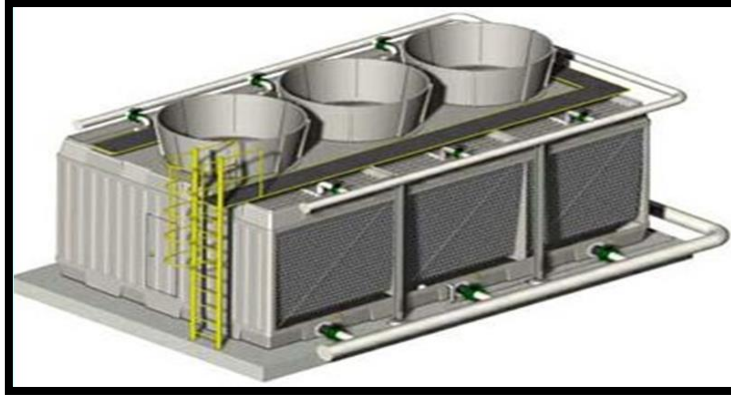
1- في العموم استهلاك كمية طاقة متوسطة أقل من نظام ال once-through system (ولكن أكثر من النظام المغلق).

2- يخفض حرارة المياه من 5 – 12 درجة مئوية.

عيوب أبراج التبريد:

- 1- تركيز الأملاح بسبب تبخر جزء من المياه مما يسبب مشاكل سنتعرض لها بعد ذلك.
- 2- زيادة النمو البكتيري بسبب إطالة فترة الاستخدام.
- 3- له قابلية في امتصاص الملوثات الهوائية المحيطة بالبرج وإدخالها النظام (كثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين والأمونيا كما يحدث في محيط شركات الأسمدة فضلاً عن الغبار والأتربة).

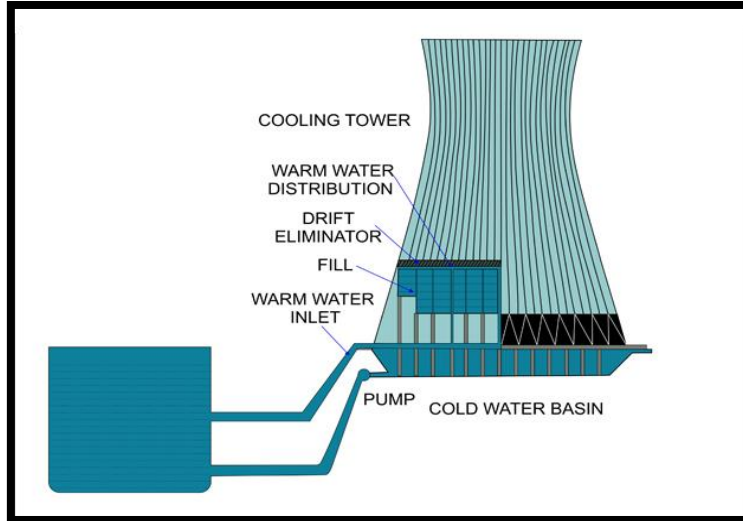
وهذه صورة لأحد الأنواع من برج التبريد:



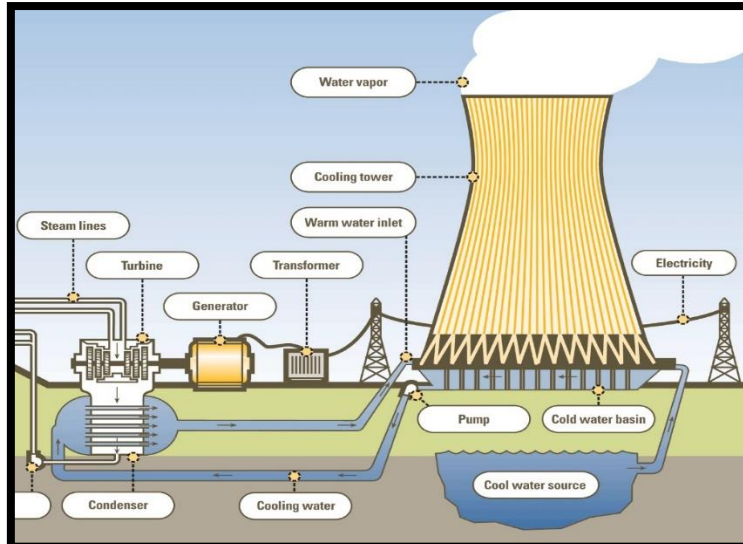
وهذا فيديو ظريف عن برج التبريد ...

<https://www.youtube.com/watch?v=ZzEHoMvzErY>

صورة لأجزاء من برج التبريد سنفهم قصة كل جزء بالنقاش القادم:



الصورة التالية تعبر عن أحد استخدامات أبراج التبريد ... من يُعلق عليها؟؟؟

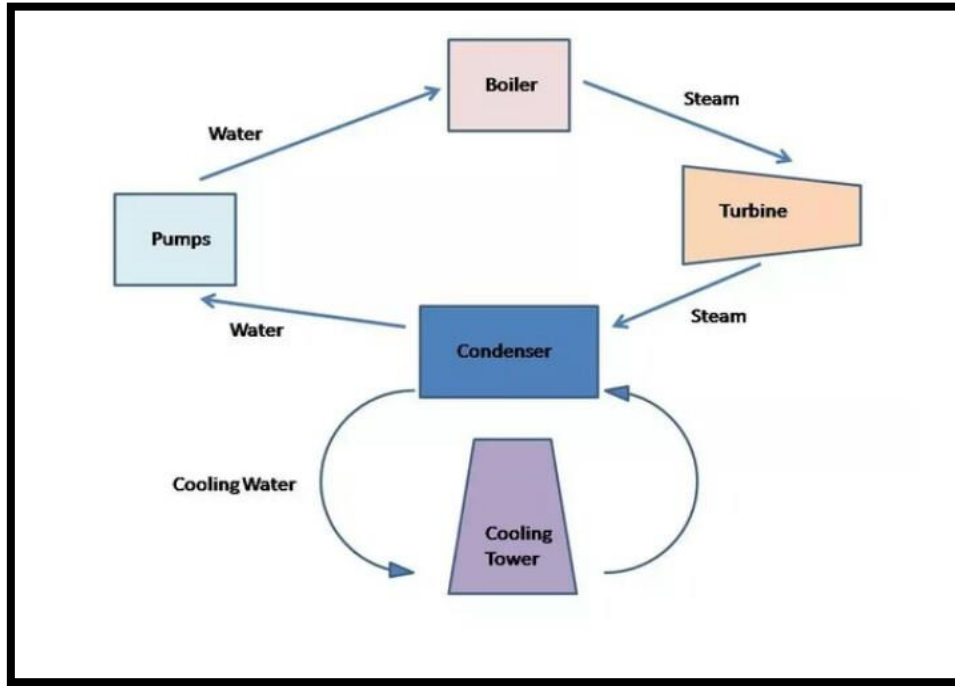


تعليق المهندس محمد جابر محمد جاهين:

محطة كهرباء بخارية.

تعليق المهندس أحمد أسامة موسىليني:

المياه الخارجة من Cooling Tower تدخل علي condenser لكي تسحب الحرارة من البخار steam بعد استخدامه في تدوير التربينات فينزل ضغطه ... فيتم تحويله إلى condensate ثم يُعاد ضخ المياه condensate مرة أخرى للغلاية boiler التي وظيفتها انتاج super-heated steam المستخدم في توليد الكهرباء في محطات توليد الكهرباء بالبخار.



رد المُحاضر:

رداً على أحد التساؤلات بنوع الدائرة: دائرة التبريد نصف مفتوحة ... الجزء المفتوح هو برج التبريد حيث تنطلق الحرارة إلى الهواء الجوى ليُعاد استخدام المياه المبردة في المكثف.

تعليق المهندس محمد جابر محمد جاهين:

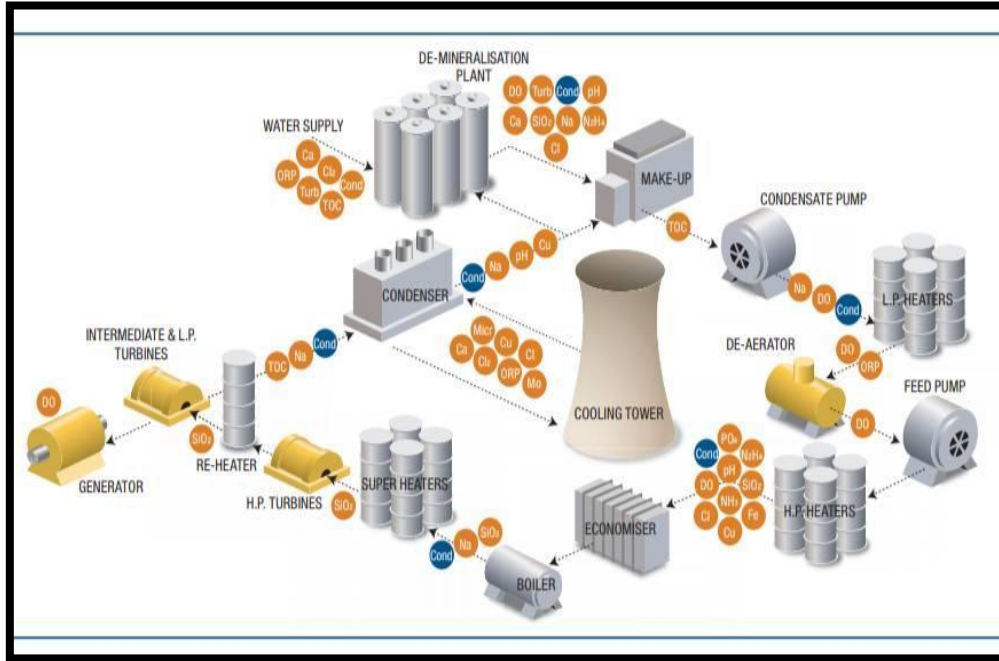
تمام ... مثل محطات أبو قير ... وال cool water sources هو مياه التعويض.

تعليق المهندس سعيد جمعة سعيد:

عادة ما تستخدم أبراج مفتوحة (once through) في محطات توليد الكهرباء في حال توفر مصدر المياه أو قرب المحطة من النهر ... وفي حال عدم توفر المياه تستخدم الدورة نصف المفتوحة وهي مكلفه في المعالجة ... والمصدر المتوفر عادة في مصر نهر النيل أغلب المحطات عليه.

المهندس علاء محمد إبراهيم صباح:

الصورة التالية هي نموذج تخطيطي لمحطة توليد كهرباء والقياسات الكيميائية المطلوبة بكل مرحلة:



تعقيب المُحاضر:

نلاحظ بالصورة أن هناك مياه يتم تبريدها في برج تبريد Cooling tower لكي تقوم بمهمتها في تكثيف البخار الناتج من التربينات في المُكثف Condenser ومطلوب تحليل العناصر والبارامترات التالية لهذه المياه:

TDS – Calcium – Chlorine – ORP – Chloride – Molybdate - Cupper

المهندس محمود عبد العزيز رزق:

مقدمة بسيطة عن التبريد بتبخير السوائل "الفكره التي تقوم عليها أبراج التبريد"

مقدمة عن التبريد بتبخير السوائل

هل سبق أن تساءلت لماذا نتعرق عندما يكون الجو حاراً أو عندما نمارس الرياضة؟ التعرق هو استراتيجية للجسم، تبرد الجسم وتحافظ على درجة حرارته. من دون التعرق، لا يستطيع الجسم تنظيم درجة حرارته، ما قد يؤدي إلى حرارة مفرطة أو حتى صدمة حرارية. لكن لماذا ينتج عن التعرق تأثير التبريد؟ يكمن الجواب في عملية التبريد بالتبخير. فتحويل سائل مثل العرق من حالته السائلة إلى الغازية يتطلب طاقة. وتستنبط هذه الطاقة من أجسامنا، أو بالأحرى من العرق، في شكل حرارة مفقودة. وبالتالي يؤدي نقل الحرارة الناتج إلى تأثير التبريد المطلوب. في هذه التجربة، ستتمكن من مراقبة هذه القدرة على التبريد في أثناء حدوثه. هل أنت مستعد لبعض التشويق؟

معلومات أساسية

تسمى عملية التحول من سائل إلى غاز بالتبخير. إذ يمكن تحويل أي سائل إلى غاز إذا ما دفعت إليه طاقة كافية في شكل حرارة. تعرف الطاقة اللازمة لهذا التحول باسم حرارة التبخر. وتعتمد كمية الطاقة التي تحتاج إليها على عوامل مثل نوع السائل أو درجة الحرارة المحيطة. فإذا كان الجو المحيط ساخناً جداً، سوف تحتاج إلى كمية أقل من الطاقة لتبخير السائل، أما إذا كان بارداً جداً، فسوف تحتاج إلى كمية أكبر.

كي يتحول السائل إلى غاز، يتحتم على الجزيئات المرتبطة معاً بداخله أن تتحرر كي ترتفع لتصل إلى الهواء. ويعني ذلك أنه على الروابط الهيدروجينية التي تربط الجزيئات معاً أن تنكسر. وهكذا، فإن الجزيئات القادرة على تكوين الكثير من الروابط الهيدروجينية فيما بينها يصعب عليها أكثر بكثير أن تتحول إلى غاز، وتتميز بحرارة تبخر أعلى. ويؤثر ذلك أيضاً على درجة حرارة غليان السائل. فالجزيئات التي يجذب بعضها بعضاً بقوة تبدأ في الغليان عند درجات حرارة أعلى مقارنة بتلك ذات قوى الجذب الضعيفة. وتعني درجة الغليان المنخفضة عموماً أن السائل سيتبخّر بسرعة أكبر. فالماء على سبيل المثال، والذي يتكون من ذرة أوكسجين واحدة وذرتين من الهيدروجين، يمكنه أن يشكل اثنين من الروابط الهيدروجينية لكل جزيء. لذلك تبلغ كمية الحرارة اللازمة لتبخيره 2,260 جول لكل جرام، أو 541 سعراً حرارياً لكل جرام، ويبدأ في الغليان عند 100 درجة مئوية (212 درجة فهرنهايت).

يستفيد جسمك من عملية التبخر عند التعرق. فعندما يبدأ العرق في التبخر، والذي يتكون بنسبة 90 في المئة من الماء، يتم استنباط الحرارة اللازمة للتبخير من العرق نفسه، الأمر الذي يؤدي إلى نقل الحرارة من السائل إلى الحالة الغازية. ويؤدي ذلك إلى تأثير التبريد (يسمى التبريد التبخيري)، الذي يساعد في الحفاظ على درجة حرارة الجسم ويبرده عندما ترتفع درجة الحرارة بشكل كبير. وتعتمد درجة التبريد على معدل التبخر وحرارته. في هذه التجربة، سوف تعرف أي السوائل له قدرة أكبر على التبريد: الكحول الطيب أم الماء. برأيك أيهما سيبرد أكثر عند تبخره؟

أدوات التجربة

كحول طبي

ماء

كوبان أو وعاءان صغيران

معلقة كبيرة

ماسة أو قطارة طبية

الإعداد للتجربة

املا كوباً صغيراً أو وعاء بمعلقة كبيرة من الماء.

املا الكوب الصغير الثاني أو الوعاء بمعلقة كبيرة من الكحول الطبي.

خطوات التجربة

اسحب بعض الماء من الكوب الأول (الذي يحتوي على الماء) باستخدام الماسة أو القطارة الطبية.

أنزل قطرة أو قطرتين على ظهر يدك وافرشها عليها بأصابعك. بم شعرت عندما لمس الماء بشرتك؟

انفخ برفق على منطقة الجلد التي غطيتها بالماء للتو. هل تشعر بشيء مختلف على بشرتك حين تنفخ على المنطقة المبللة؟ وهل تشعر باختلاف في درجة الحرارة في أثناء النفخ؟ ما الذي تشعر به؟

احفظ الماسة ببعض الكحول الطبي. تم استخدامها لسحب بعض الكحول.

أنزل الكمية نفسها من الكحول على ظهر يدك الأخرى كما فعلت بالماء وافرشها عليها بأصابعك. هل تشعر بشيء مختلف عند لمس الكحول بشرتك؟ وما هو؟

مررة أخرى. انفخ فوق المنطقة التي غطيتها بالكحول. بم تشعر؟ هل تشعر بأن يدك أبرد أم أبرد مقارنة بالماء عندما تنفخ عليها؟ وهل يمكنك أن تفكر في سبب لذلك؟

نشاط إضافي: استكشف سرعة تبخر الكحول الطبي والماء. ضع الكمية نفسها (كمية صغيرة) من الماء ومن الكحول الطبي في كوبين مختلفين. وضعهما في الشمس. لاحظ كم يستغرق الأمر لتبخر السائلان تماماً. (وفق دفء الجو. قد يستغرق هذا بعض الوقت). أي السائلين يتبخر أسرع؟ يمكنك حتى تحديد معدل التبخر عن طريق قياس كل كوب ووزنه في البداية وخلال التجربة. لمعرفة مقدار الماء الذي يفقد بسبب التبخر.

الملاحظات والنتائج

هل شعرت بقدرة التبريد مع الماء والكحول؟ من المفترض أن تشعر ببرودة كلا السائلين على بشرتك. وبسبب النفخ على يدك المبللة في تبخر الماء والكحول. كما يدعم تدفق الهواء نقل الحرارة بعيداً عن بشرتك. ولعلك لاحظت أن بشرتك تشعر ببرودة أكبر عند وضع الكحول الطبي عليها مقارنة بالماء. يبدأ الماء والكحول في التبخر فور أن تبدأ النفخ على يدك. لكن مقارنة بالماء، يحتاج الكحول إلى حرارة أقل لتبخر. ويعني ذلك أنه للكمية نفسها من السائل. تنقل الحرارة أكثر خلال تبخر الماء مقارنة مع الكحول.

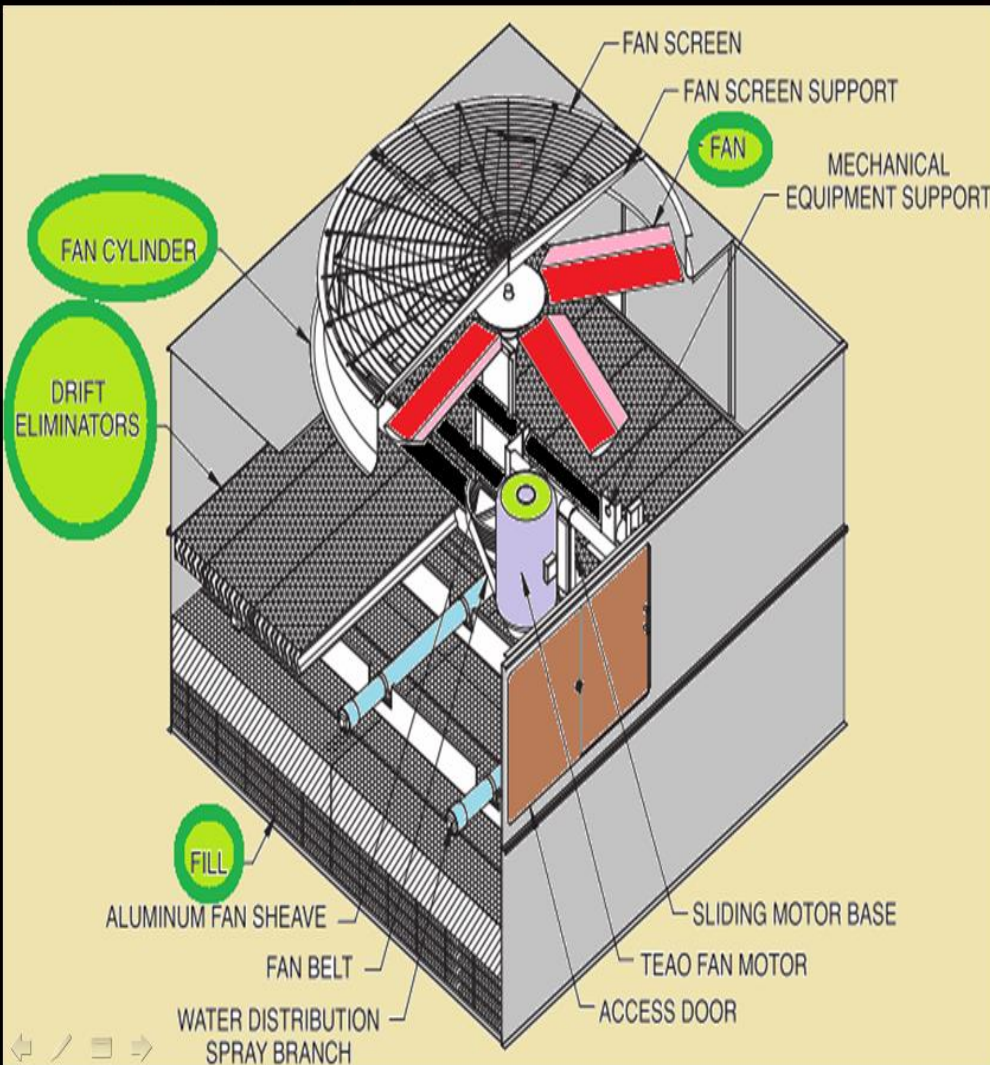
لكن يتعارض ذلك مع ملاحظتك أن الكحول له تأثير تبريد أكبر من الماء. والسبب في ذلك هو أن كمية الحرارة المنقولة تعتمد أيضاً على معدل التبخر. وإذا تبخر الكحول بمعدل أسرع بكثير مقارنة مع الماء، بسبب درجة حرارة غليانه الأقل (82 درجة مئوية مقارنة مع 100 لماء)، فهو يستطيع حمل المزيد من الحرارة من الجلد. ويعني ذلك أنه في الفترة الزمنية نفسها تبخر كمية من الكحول أكثر بكثير من الماء. وربما لاحظت هذا أيضاً عندما عملت النشاط الإضافي. إذ وضعت الكمية نفسها من الكحول والماء تحت الشمس ورصدت معدلات التبخر لكل منهما. ومن العوامل الأخرى التي تؤثر على معدلات التبخر مساحة السطح، ودرجة الحرارة، وتدفق الهواء.

النقاش القادم سنتحدث عن أجزاء برج التبريد ووظيفة كل جزء وبعدها سنتحدث عن الأنواع المختلفة...



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد



5

لنقترب أكثر
وندخل في برج
التبريد!!

النقاش الخامس:-**5- لنقترب أكثر وندخل برج التبريد!!**

تعرفنا من قبل على صورة مُبسطة عن برج التبريد وفي السطور التالية سنتعرف أكثر على بعض مكونات برج التبريد وخطوط المياه التي تدخل وتخرج منه وأهم مواد البناء ...

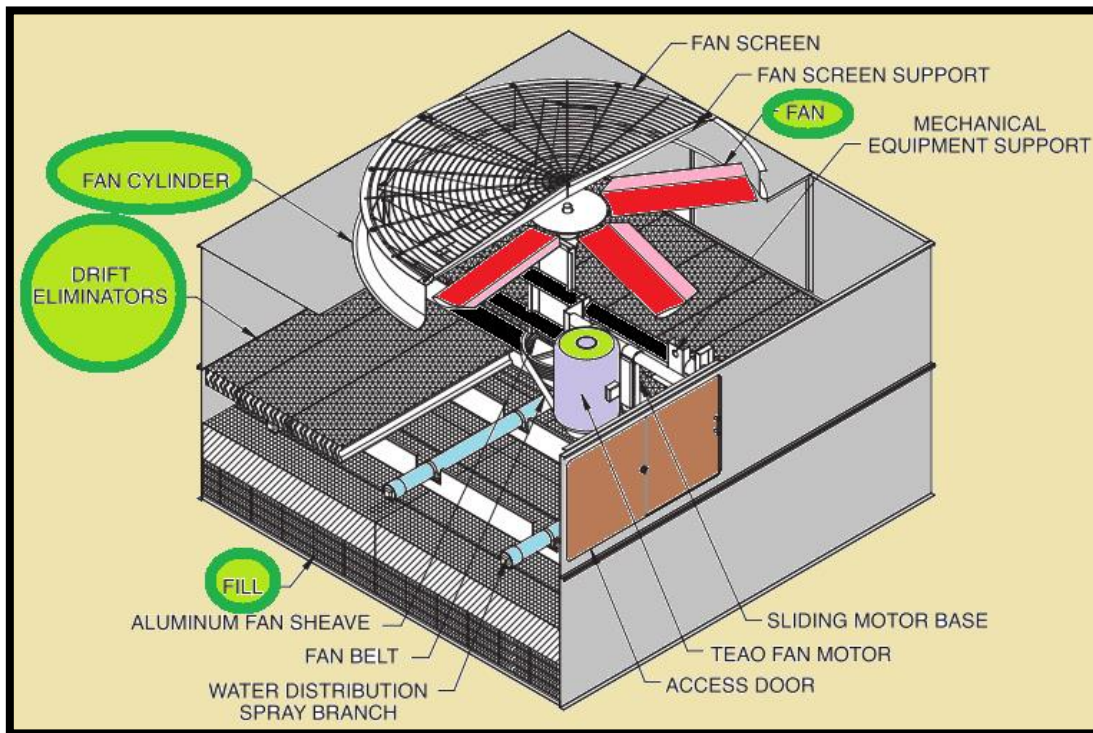
نطلب منك أيها القارئ الكريم التأمل في الصورة التالية ... هذه صورة لتركيب أحد أبراج التبريد:

انظر إلى المروحة fan ولها موتور تشغيل وتثبت في جسم اسطواني fan cylinder وفوقها الشبكة fan screen للحماية.

وانظر إلى مكان الحشو fill ... وانظر إلى ال drift eliminator ... وانظر إلى مواسير توزيع المياه water

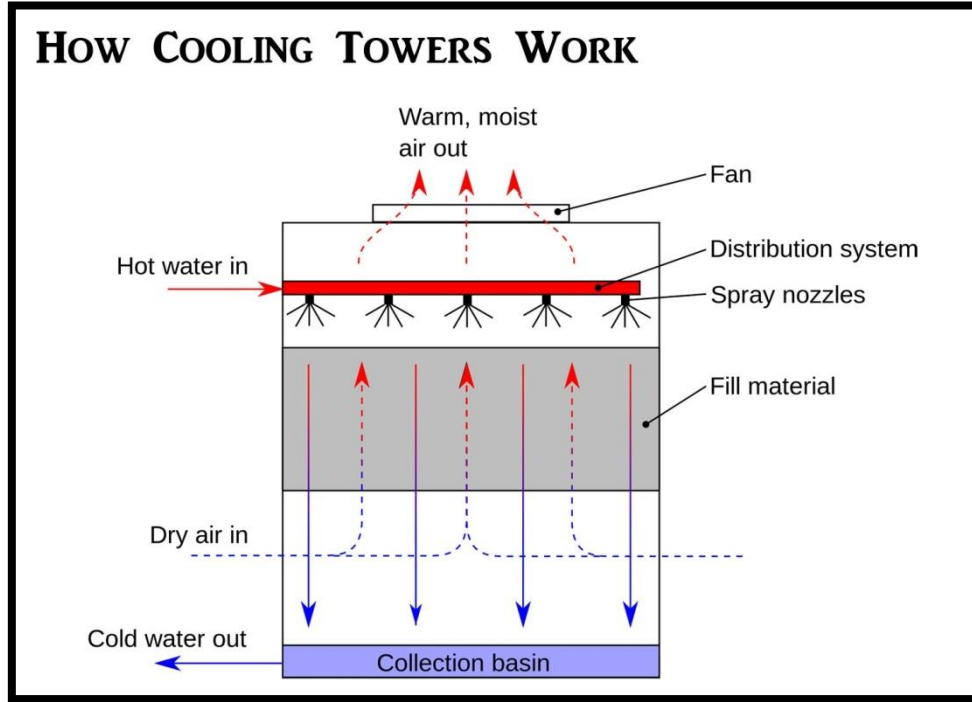
distribution system ... وبالطبع يوجد باب يسمح لدخول العاملين إلى داخل البرج حال الصيانة والتركيبات access

door ... ما هذا الكلام؟؟



بواسطة ظلمبة يتم ادخال المياه الساخنة القادمة من المبادل الحراري أو المكثف أيأ كان إلى قمة البرج ليتم توزيع الماء على ما يُشبه حوض توزيع (distribution basin) في أعلى البرج أو (trough) حيث يتم توزيع الماء على مساحة أفقية ليسقط على هيئة رذاذ (spray) مثل المطر أو شلال مياه أو "دش Shower" ... قل ما شئت ... وذلك بواسطة الموزعات أو النوزلات Nozzles لتقابل هواء جاف صاعد unsaturated (dry) air قادم من أسفل البرج ويدخل من الجوانب السفلية من البرج intake points ويتحرك إلى أعلى فيلامس المياه الساخنة وتنتقل الحرارة من

الماء إلى الهواء فيتم تبريدها وينتقل الهواء الساخن إلى أعلى البرج ومنه إلى الهواء الجوي عبر فتحة العادم أو البخار Exhaust أو المدخنة Stack ونسميها نقطة ال Discharge ... وتتجمع المياه الباردة في قاع البرج (cold water basin) أو collection basin أو Collector أو Catch basin ليتم تصريفها في فتحة البالوعة أو البيرة أو ال sump وإعادة استخدامها داخل المصنع (circulated) أو (Recycled) إلى ال heat exchanger أو يتم ضخ جزء منها والتخلص منها في مياه النهر أو البحر ... هذا هو برج التبريد بكل بساطة!!



المهندس شُعيب محمود شعبان:

عملية تبريد المياه ببرج التبريد:-

باستخدام مضخة يتم ضخ الماء الساخن الخارج من المكثف ويدخل إلى برج التبريد من الأعلى ويوزع بشكل متساوي على شكل قطرات ... وتتم عملية التبريد داخل البرج نتيجة تبخر بعض الماء في أثناء تساقطه ... إذ يأخذ الحرارة اللازمة لتبخيره من كتلة الماء الباقية التي ستخفض درجة حرارتها ... ويحمل الهواء المطرود إلى خارج البرج ومعه البخار الناتج ... بالإضافة إلى ذلك فإن جزء من الحرارة المحسوسة ينتقل من الماء إلى الهواء ... لذا ترتفع درجة حرارة الهواء الخارج من البرج وكمية الرطوبة أيضا ... يسقط الماء في حوض البرج بحيث يصبح في تماس من الهواء المار داخل البرج ... وبعد أن يبرد يرجع مرة أخرى إلى داخل المكثف. وتُبنى نظرية أبراج التبريد على فكرة قديمة ورغم قدمها فهي جيدة التطبيق. تُبنى نظرية تبريد المياه الآتية من عملية التكثيف (أي القادمة أو الخارجة من المكثف) على أساس تعريضها للهواء أو بمعنى أدق تعريض سطح المياه للهواء فقط ... هذه العملية تُبرد الماء ولكن ببطء ... ومثل ذلك هو تبريد المياه

الموجودة على سطح البرك والمستنقعات ... وهناك طريقة أسرع برش الماء أو تذييره في الهواء ... وأياً كانت الطريقة أو الطرق فكلها تتضمن تعريض سطح الماء للهواء ولكن بدرجات مختلفة من الكفاءة Efficiency. وهذا شكل من أشكال النوزل أو الرشاش الذي يحول المياه إلى رذاذ:



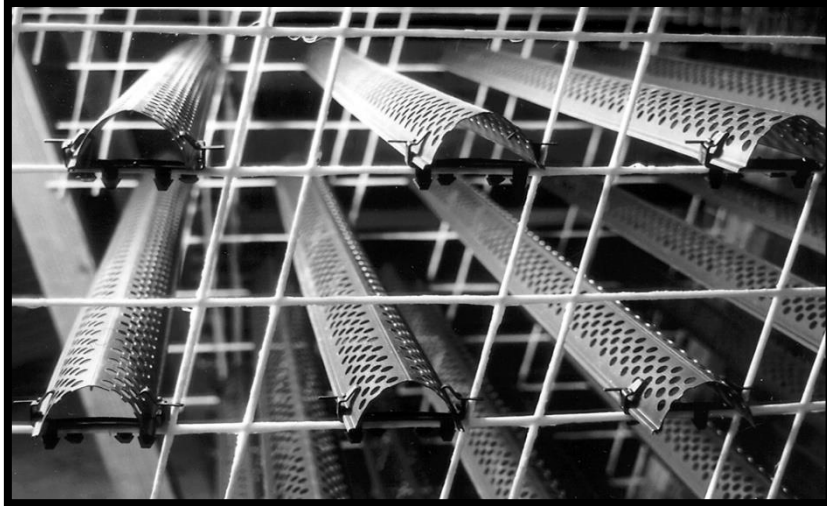
لماذا "نفثت المياه إلى قطرات" عندما تدخل البرج عن طريق النوزلات nozzles أو الرشاشات؟ يتم ذلك كي نعمل على زيادة مساحة سطح التلامس مع الهواء من جهة وإطالة مدة التلامس contact time معه من جهة أخرى فتزيد كفاءة التبريد. (وفي الحسابات الخاصة بتصميم البرج يتم تحديد كم طن ماء سنحوّله إلى رذاذ؟ ليكون عدد النوزلات وانتشارها مناسب لحجم المياه).



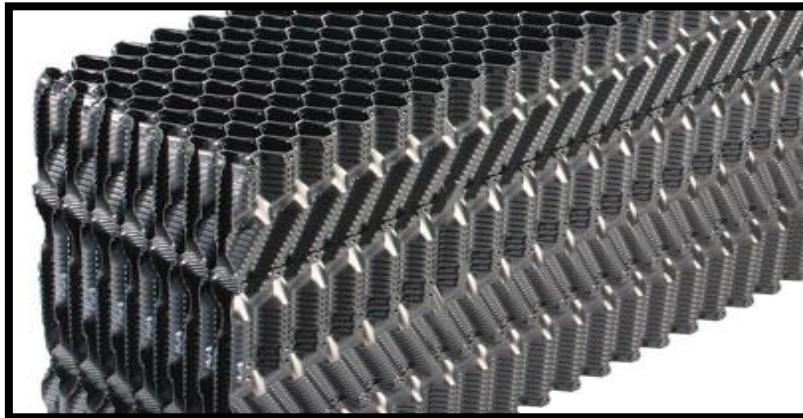
ماذا نقصد بالحشو في برج التبريد؟

نلاحظ أيضاً في الصورة الخاصة ببرج التبريد وجود مواد حشو filling material أو packing ... ويسمونها أحياناً خلية عشب النمل أو عشب النحل أو عشب الدبابير! وفائدتها تكبير مساحة سطح التلامس بين قطرات المياه والهواء وإطالة زمن التلامس بين قطرات المياه والهواء (يعني تعطيل سقوط المياه في البرج بجانب تفتيتها وفردها وتعريض أكبر مساحة منها للهواء في زمن أكبر فتطلق حرارة أسرع وبالتالي كفاءة التبريد تزيد). و يُملأ البرج بنوعين أساسيين من الحشو:

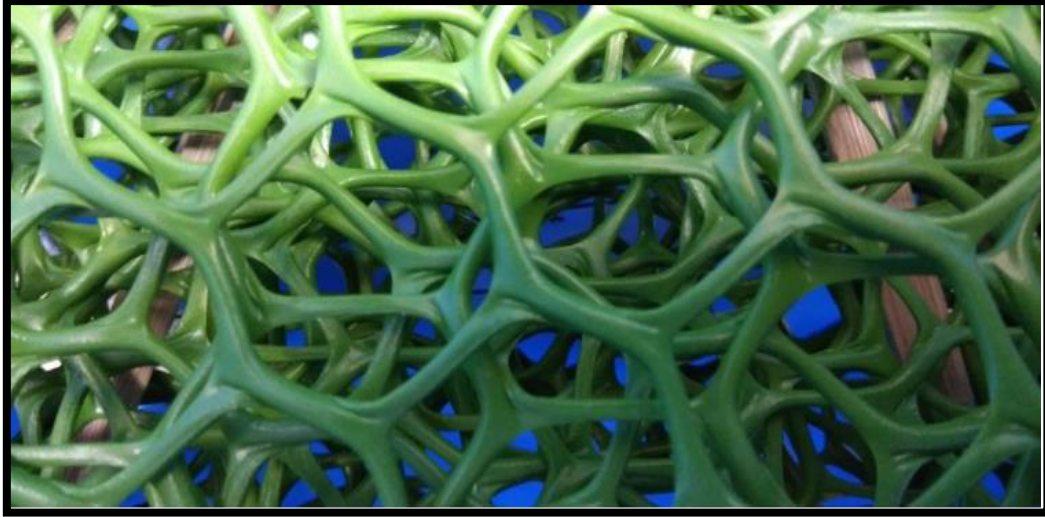
- 1- حشو رشاشات splash fill: وهي شبكة من الحواجز (grating) عبارة عن شرائح أو ألواح بلاستيك أو أنواع من الكارتون أو شرائح خشبية أو طبقات متتالية من قضبان من الرشاشات الأفقية horizontal splash bars كما نرى في الصورة:



1- حشو طبقات film fill من صفائح (شيتات) رقيقة من مادة مثل الPVC متلاصقة ومسطحة أو مموجة corrugated film ... وتقوم بخلق مساحة أكبر للتبادل الحراري من ال Splash fill ... ولكن له بعض العيوب عن ال splash bars فهو سهل ال fouling بالميكروبات والمواد الصلبة ومن الصعب تنظيفه وبالتالي فمن السهل أن يفقد كفاءته.



والإختيار بين النوعين يعتمد على نوعية المياه فى دائرة التبريد ... لو كان لها جودة غير جيدة وتحتوي على مواد صلبة بنسبة كبيرة فإننا نختار ال splash bar تجنباً للفاولينج مع ال film fill والعكس صحيح خاصة لو كانت الحرارة ترتفع لدرجات عالية فإننا نستخدم ال film fill ... وهناك بعض الأبراج تستخدم كلا النوعين. وهناك ابداعات حديثة فى أشكال الحشو كلها تحاول تقليل سرعة المياه وإطالة مدة التلامس بين الماء والهواء ... انظر إلى أحد أشكال الحشو:



ومن استعراضنا للمادة التي تصنع منها الحشو يتبين لنا أن زيادة الأملاح بالطبع لا تؤثر فيها إلا فى حالات استثنائية تكون فيها مادة الحشو غير جيدة أو من الخشب غير المعالج.

المهندس أيمن موسىليني عارف:

نقطة مهمة جداً هي توزيع المياه على النازل لا سيما وإن كان البرج يتكون من أكثر من خلية ... فلابد من ضبط توزيع المياه على الخلايا بحيث يكون التوزيع بصورة متوازية حتى لا يكون هناك معدل سريان كبير على خلية دون الأخرى والذي يتسبب في كسر للجلبة التي يُثبت فيها النازل ومن ثم سقوط النازل من مكانه ويؤثر ذلك على كفاءة التبريد وأيضاً قد يسبب تهتك وتقطيع في الحشو وهذا من الممكن رؤيته بالنظر وأنت خارج البرج ستجد شلال مياه من مكان معين والأماكن الأخرى المياه تسقط على شكل رذاذ ... إن وجدت هذا المنظر يقيناً سيكون هناك نازل ساقطة من الجلبة...

وفي حالة حدوث قنوات في الحشو وتسبب في تهتك أو قطع فلابد من تغيير الحشو في هذا المكان حتى لا يؤثر على كفاءته التبريد.

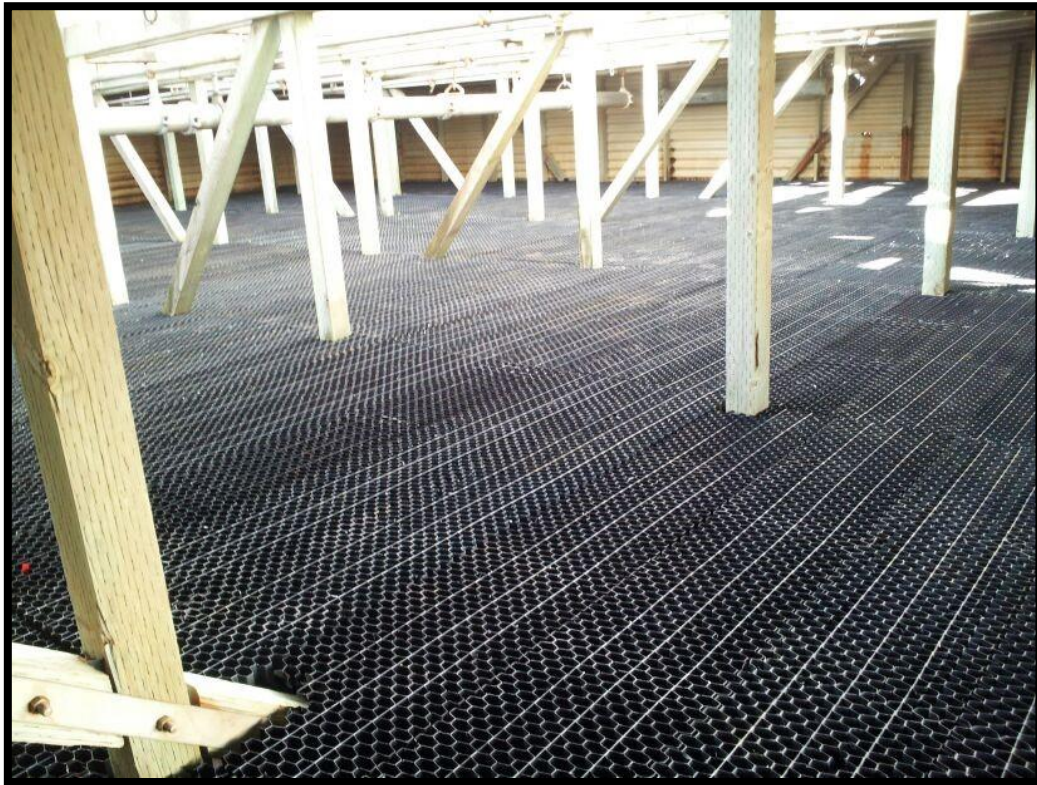
وللحفاظ على عدم تكون بايوفاولينج علي الحشو يحتاج عناية من حيث الحفاظ والانتظام في حقن جرعات الكلور والبايوسايد ... وفي العمرات السنوية (التوقف السنوي للصيانة) يُمكن تنظيفها وتطهير بهيبوكلورايت تركيز 5% عن طريق جيت بامب Jet pump.

وفي بعض الأنظمة توضع شبكة بلاستيكية تسمى (برودكتف Productive) توضع بين الرشاشات والحشو ... ولها سُمْك حوالي 10 سم ... ووظيفتها عمل تكسير وتوسيع مساحة السطح للمياه حال حدوث كسر للرشاشات ومن ثم حماية طبقة الحشو من حدوث قنوات داخلها تؤدي إلى خلل في نظام التبريد ... وهذه الطبقة موجودة غالباً في أبراج مصانع الأسمدة.

ما هو مانع الرذاذ Drift eliminator؟

قبل أن نتحدث عن هذا الشيء ... نسأل أولاً ما هو الـ Drift في عالم أبراج التبريد؟ عندما تتصاعد الأبخرة من أبراج التبريد في المنطقة العلوية Discharge air تتصاعد معها رذاذ أو نقاط من المياه مما يعتبر ذلك فقداً للمياه من المنظومة.

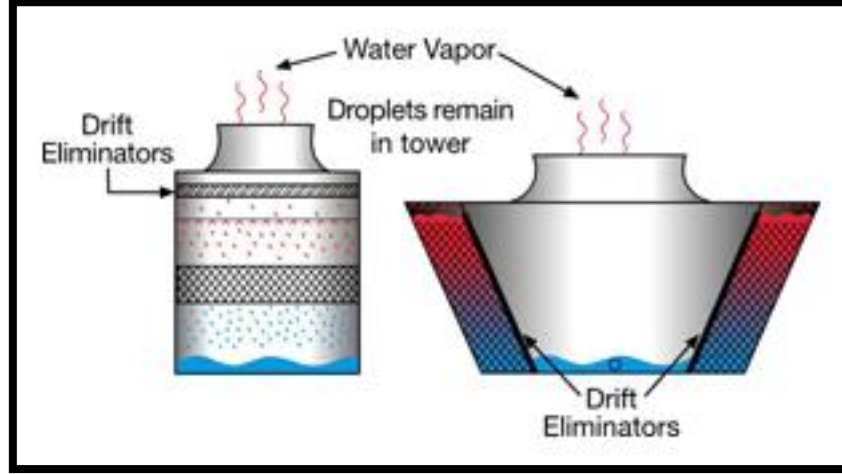
ونحن نتعرض لبعض مكونات برج التبريد نجد ما يُسمى بالـ Drift eliminator في المنطقة العلوية أسفل المراوح كما بالصورة التالية وهو عبارة عن ألواح تتجمع عليها أبخرة أو رذاذ أو قطرات المياه هذه فتتجمع وتسقط مرة أخرى ... ووظيفتها تقليل المياه المفقودة من البرج والصاعدة مع الهواء the leaving air stream ... والشخص الذي يمر بجانب برج التبريد أحياناً يجد بعض رذاذ المياه يسقط عليه وذلك بسبب الـ Drift eliminator.



وفائدة الـ Drift eliminator بجانب أنه يقلل الفقد في المياه ... أن هذه المياه تحتوي على كيمياويات ومعادن تؤثر على البيئة المحيطة ... وبهذا فإن لها دور في الحفاظ على البيئة.

ونستطيع أن نقول أن الـ drift eliminator يقلل المياه المفقودة في الـ drift لحوالي أقل من 0.002% أو لنقل 0.001% من كمية المياه الكلية في النظام ... والمهم أن يوضع بدرازين صحيح وبعيد عن احتمال تعرضه للفاولينج

والانسداد ... كما يجب التحكم المناسب في عمل المروحة وسرعتها وسرعة الهواء داخل البرج ... أيضاً منع الرياح الطبيعية القوية من دخول البرج والتي تقذف الماء خارج البرج ... كما يجب أن يكون معدل سريان المياه غير قوى جداً ... هي في الواقع خطوات إضافية لتقليل الdrift.

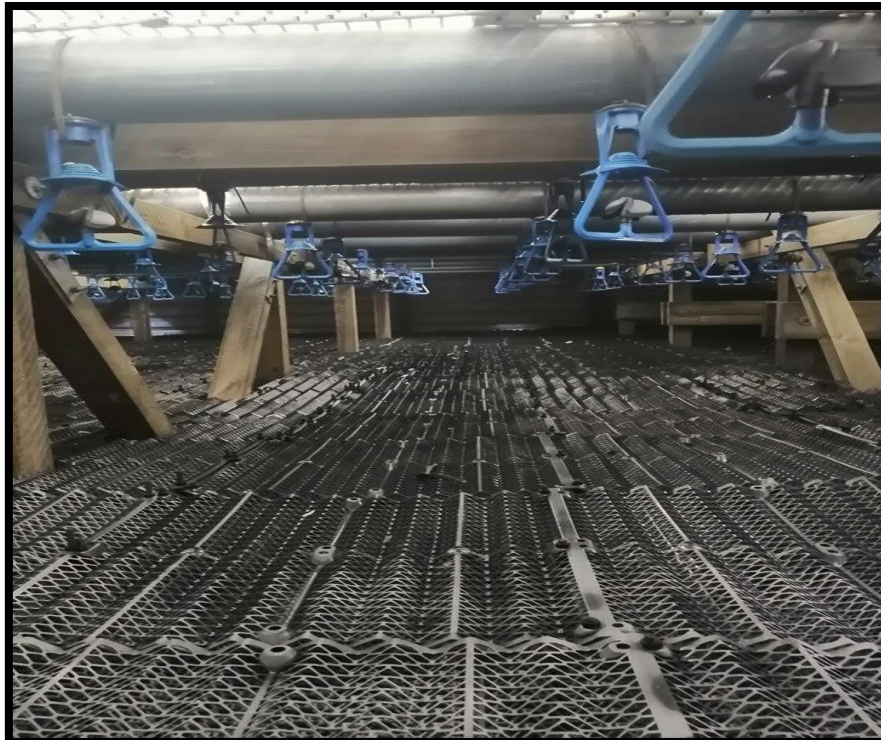


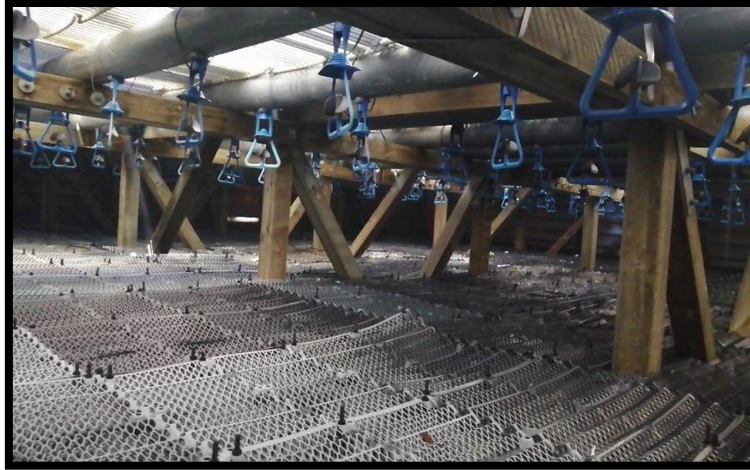
المهندس أيمن موسيليني عارف:

مانع الرذاذ Drift eliminator يحتاج تثبيت بصورة جيدة حتي يكون الهواء الخارج منتظماً ويقلل فقد المياه قدر المستطاع.

المهندس أيمن موسيليني عارف:

هذا شكل الرشاشات والباكينج (الحشو):





ماهى خوانق التوجيه (اللوفرات) louvers؟

هناك ما يُسمى بال louvers أو فتحات التهوية على الجدران الجانبية للبرج تمنع خروج المياه للخارج splash out وتسمح بمرور الهواء بالتساوي والمنصفة في كل أجزاء الحشو ... كما تعمل على عدم التعرض لأشعة الشمس المباشرة وتشبهه "الشيش" في نوافذ المنازل ... شرائح أفقية (شيتات) موضوعة بزاوية معينة ... وعدم تعرض الحوض لأشعة الشمس مهم جداً حتى لا تنمو الطحالب فيها ... بجانب أنها تقلل من دخول الملوثات والشوائب الهوائية إلى داخل البرج ... انظر الصور:



المهندس أيمن موسيليني عارف:

غالباً يحدث تكون للطحالب في الجزء الخارجي المعرض للشمس ويكون وضعه صعب جداً. والوفرات تحمي من تكون الطحالب في الجزء الداخلي لبعده عن الضوء. والهواء الجاف يتم ادخاله من قاع البرج أو النصف السفلى من البرج من فتحة الهواء air inlet ... قد تكون فتحة واحدة أو عدة فتحات على محيط البرج عبر ال Louvers ... ويصعد لأعلى upward descending بفعل التدفق الطبيعي (natural drift) للهواء الساخن (ذو الكثافة الأقل من البارد) أو عن طريق مراوح (fans) (كمروحة الشفط) في الجزء العلوي أو على الجدار الجانبي أو مروحة طرد مركزي عند فتحة دخول الهواء Centrifugal fan كما سنشرح بالتفصيل بعد ذلك ... وهذه صورة لأحد المراوح:



وهذه صورة لبرج التبريد من أعلى تظهر فيه مروحة الشفط مثبتة في الجزء العلوي (المدخنة Stack) لسحب الهواء لداخل البرج وإخراجه من أعلى:



المهندس أيمن موسيليني عارف:

طبعاً المراوح لها ضبط لزوايا الميل ومن الممكن أن تتغير زوايا الميل على حسب الحرارة والرطوبة في الجو ... وفي الأنظمة الحديثة الآن غالباً بما يكون فيه VFD يتحكم في سرعة المروحة على حسب الدلتا تي للبرج ..

وبالنسبة للباب العلوي يتحدث المهندس أيمن موسيليني عارف:

هناك ملحوظة مهمة جداً للأخوة الزملاء ... معلوم أن في نظام التبريد ذو الدفع المستحث Induced draft Counter flow كما في مصانع الأسمدة حيث تكون مروحة السحب أعلى البرج ... في هذا النظام يوجد باب من أعلى البرج لكل خلية تستطيع النزول للخلية من خلاله لعمل أي صيانة بداخلها للرشاشات أو الحشو ... إلخ ... والتنويه هنا أنه أحياناً يتم دخول الخلية لأي سبب لعمل صيانة أو غيره ويتم ترك الغطاء مفتوح ... طبعاً هذا سيتسبب في أن الهواء المسحوب من خلال المروحة سيكون الجزء الأكبر منه من الغطاء المفتوح من الباب نظراً لسريان الهواء في المسار الأسهل وهذا بالتأكيد سيؤثر على كفاءة التبريد من حيث الدلتا تي الكلية للبرج وأيضاً سيلاحظ ارتفاع في أمبير موتور المروحة ...

وكل أبراج التبريد ذات الحجم الكبير نسبياً لها مدخل سواء من أعلى البرج أو من أسفل البرج على حسب نظامه ... وهذه صورة للباب والسلم الذي ننزل منه للخلية من أعلى البرج ونصل من خلاله إلى الرشاشات والحشو:

**ما هو ال sound attenuators؟**

يُمكن تركيب ما يُسمى بال Sound attenuator أو مُخفض الصوت في منطقة المدخنة (خروج الهواء) أو منطقة دخول الهواء لتخفيف الضوضاء على العاملين المتواجدين حول البرج وتزيد الحاجة إليه لو كان البرج في منطقة سكنية ... وهي عبارة عن حواجز معدنية Baffles أفقية في منطقة الخروج ورأسية في منطقة دخول الهواء ... (أو يتم استخدام شيتات من شبكة النايلون لتقليل الضوضاء أيضاً) ... انظر صورة هذه الحواجز:



ما هي أهم مواد بناء برج التبريد؟

أهم مكونات برج التبريد هو الإطار frame الذي يثبت الهيكل (أو الشاسيه) casing وهو الجدار الجانبي الذي يكون البرج ... الحشو packing الموجود داخل البرج ... قاع البرج (حوض التجميع) cold water basin ... هذا إلى جانب الخطوط pipes التي تصل بينه وبين المبادل الحراري ... والمبادل الحراري نفسه.

يُمكن بناء برج التبريد بحيث يكون خرسانة Concrete من الداخل وهي ممتازة في منع الحرائق Fire proof ... كما يتم بناء قاع البرج منها أيضاً ... والشاسيه (الهيكل) Casing يكون من الحديد المجلفن [galvanized steel](#) (أو الصاج لو كان صغيراً) أو الاستانلس ستيل أو الألومنيوم أو من الخشب (Timber (wood) الجيد الذي لا يتأثر بالماء أو من البلاستيك المقوى بالفايبرجلاس FRP وهو اختصار ل (Fiber-reinforced plastic).

ويتم أخذ القرار بذلك بناء على عدة عوامل وأهمها العامل الإقتصادي ... مثلاً برج الحديد قد يدخل في الخدمة 10 سنوات مقابل 50 سنة مثلاً من برج الاستانلس ... فيتم تغيير برج الحديد 5 مرات في خمسين سنة وبسعر أرخص من الاستانلس.

بالنسبة للخشب ... فهو رخيص بالنسبة للمواد الأخرى ويتم صناعة برج التبريد منه سواء أكان الشاسيه أو الحشو [cold water basin Frame , casing, louvers, filling](#) ويتم معالجته كيميائياً بطريقة خاصة عن طريق شركات محترمة ويصبح ذو كفاءة عالية ضد البايوفاولينج ولا يُصاب بالفطريات ويتحمل بعض الكيماويات التي لا يتحملها الحديد أو الخرسانة ويصل عمره إلى 10 سنوات ... وعندما يتآكل خاصةً من السطح تظهر قطرات المياه وهي ساقطة منه على جانبي البرج! ... بالطبع يفضل البلاستيك reinforced plastic عن الخشب بالنسبة للجودة ومقاومة البايوفاولينج والتآكل والنحر وبالتالي العمر الأطول.

أيضاً يتم استخدام نوع معين من الكارتون كمادة للحشو ويمكن تغييرها كل سنة.

كذلك البلاستيك (PVC – ABS – Polypropylene) وغيرها من المواد البلاستيكية [وبوليمرات أخرى مثل](#)

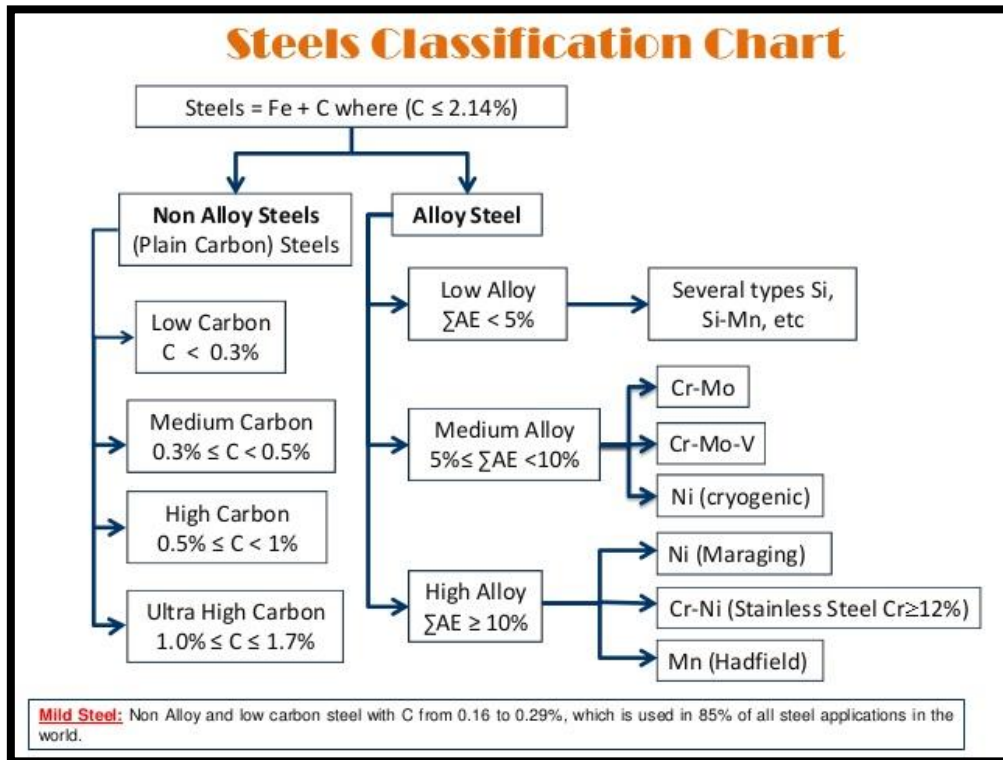
[الـ glass fiber Nylon](#) حيث تدخل هذه البلاستيكات في صناعة النوزلات أو الرشاشات ومواد الحشو.

وأما مواسير المبادل الحراري فتُصنع من الاستانلس ستيل أو الفولاذ الطري (المطاوع) Mild steel أو من سبائك النحاس copper alloy أو الألومنيوم أو التيتانيوم ... وأما الخطوط مابين المبادل وبرج التبريد فتصنع من النحاس أو الفولاذ الطري أو الPVC.

وأما المراوح فتصنع عادة من الألومنيوم أو الفايبرجلاس أو الحديد المجلفن وغيرها من المواد.
مواد البناء باختصار نجمعها في الجدول الظريف التالي:

Concrete	الخرسانة الأسمنتية
Timber (wood)	الخشب
PVC (Poly vinyl chloride)	بلاستيك البولي فينيل كلورايد
PP (Poly propylene)	بولي بروبيلين
FRP Fiber-reinforced plastic	بلاستيك مدعم بألياف الفايبر جلاس الزجاجية
ABS Acrylonitrile butadiene styrene plastic	بلاستيك "الإيه بي إس"
Steel	الحديد الصلب (معه نسبة من الكربون ومواد أخرى)
Mild steel (Carbon steel)	الحديد الطري (المطاوع) نوع من الحديد الصلب نسبة الكربون بها قليلة.
Galvanized steel	الحديد المجلفن (حديد صلب مغطى بطبقة زنك أو نحاس لحمايته)
Stainless steel	الاستانلس ستيل (حديد مقاوم للصدأ معه كروم ونيكل وموليبيديوم وغيره) (تتكون طبقة سطحية من أكسيد الكروم تعمل (passivation) ... نسبة الكروم 11% أو أكثر.
copper	النحاس
Brass	هو في الحقيقة سبيكة من النحاس مُضاف إليها زنك ... وكلما زاد نسبة الزنك زادت قوة السبيكة مع قابليتها للسحب والطرق ... ولونه يختلف من الأحمر إلى الأصفر حسب كمية الزنك المُضافة
Aluminum	الألومنيوم
Titanium	التيتانيوم

وهذا رسم بياني يوضح فيه الأنواع المختلفة من الحديد:



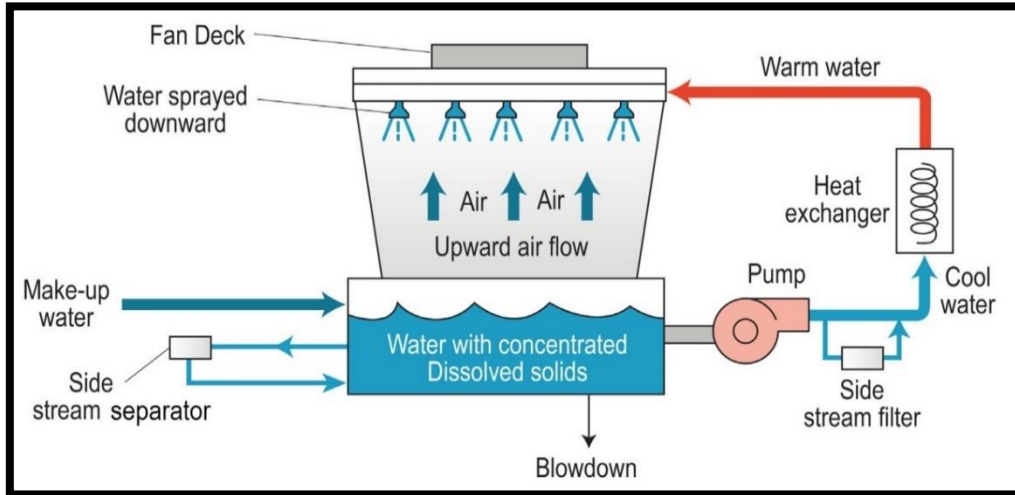
المهندس عصام أحمد البسيوني:

من مميزات الفايبر جلاس عن مواد التصنيع الأخرى أنه لا يحدث به صدأ وخفيف الوزن ولا يتأثر بحرارة الشمس لو تم وضعه على سطح المبنى.

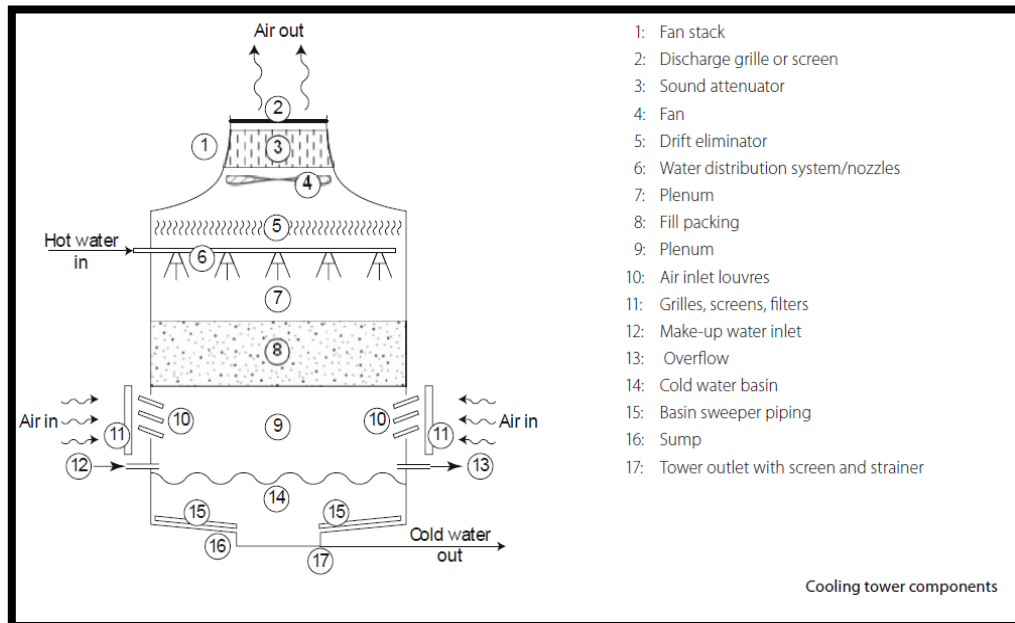


أبراج تبريد مصنوعة من الفايبر جلاس

وهذه صور تراجع لنا المنظومة وتبسطها لنا (مياه التبريد من المبادل إلى برج التبريد والعكس):



وهذه أجزاء برج التبريد التي تحدثنا عن بعضها:



وهذه صورة لمكان تصريف المياه في قاع البرج:



تعليق المهندس شعيب محمود شعبان:

- تركيب أبراج التبريد الميكانيكية:

1- الغلاف الخارجي:-

- جسم البرج Body of the tower ويصنع من الحديد أو الصاج المقاوم للصدأ.
- فتحات التهوية Louver: وتوضع على الجسم الخارجي للبرج حيث تسمح بمرور الهواء من خلالها إلى داخل البرج بينما تصميمها المتعرج يمنع دخول أتربة أو أي مواد ملوثة للماء داخل البرج أثناء سحب الهواء الخارجي .

2- الغلاف الداخلي للبرج :-

- المروحة Fan: تعمل على سحب الهواء إلى داخل البرج ليحدث التبادل الحراري بين الهواء وقطرات الماء المتساقطة .
- موانع الرذاذ Eliminators: توضع لاستخلاص قطرات الماء التي قد تنجرف مع تيار الهواء إلى خارج البرج ... ويعتمد كمية الماء المنجرفة على تصميم البرج وسرعة الهواء.
- فوهات Nozzles: تقوم برش المياه على هيئة رذاذ ليتساقط من أعلى البرج ... والغرض من هذا التوزيع تحويل الماء لرذاذ ناعم ونشره بالتساوي خلال مقطع البرج .
- حشو الأبراج Packing: تعمل على تحويل الماء الذي يمر عليها إلى رذاذ عن طريق توفير مساحة سطحية مبتلة كبيرة يساعد على سرعة التبخر... بالإضافة إلى ذلك فإنها تجعل الماء يسير بطريق متعرج مما يزيد من فترة وجوده في تماس مع هواء البرج.
- حوض البرج Basin: ويكون في أسفل البرج حيث تجمع فيه المياه المتساقطة ... كما يحتوي الحوض على عوامة ببلف يضبط على حسب منسوب المياه المطلوب بالحوض ... ومصفاة عند فتحة خروج المياه إلى المكثف لمنع دخول أي شوائب أو ترسبات داخل المواسير.

أضاف المهندس "أيمن موسيليني عارف" نقطة هامة تتعلق بالأمان Safety:

لابد من وجود شبكة إطفاء مُحكمة حول البرج لأن اغلب مكونات البرج تقريباً قابلة للاشتعال ... وخاصة في بداية التركيبات وفي وقت التوقف والعمرات ... ويتم المتابعة الدورية على جاهزية الشبكة من حيث الضغط والطلبات والمعدات وأيضا جاهزية الأفراد ... أحببت التنويه عن نقطة مهمة أرى فيها إهمال كبير في كثير من المصانع ... وقد حصل فعلاً مشكلة أثناء فتره التركيبات لأحد المصانع وكان السبب أن عاملاً ألقى بعقب سيجارة على الحشو المصنوع من الخشب!

النقاش القادم سنتحدث عن أنواع أبراج التبريد بالتفاصيل.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

6

أنواع

أبراج التبريد!!



النقاش السادس:-**6- أنواع أبراج التبريد!**

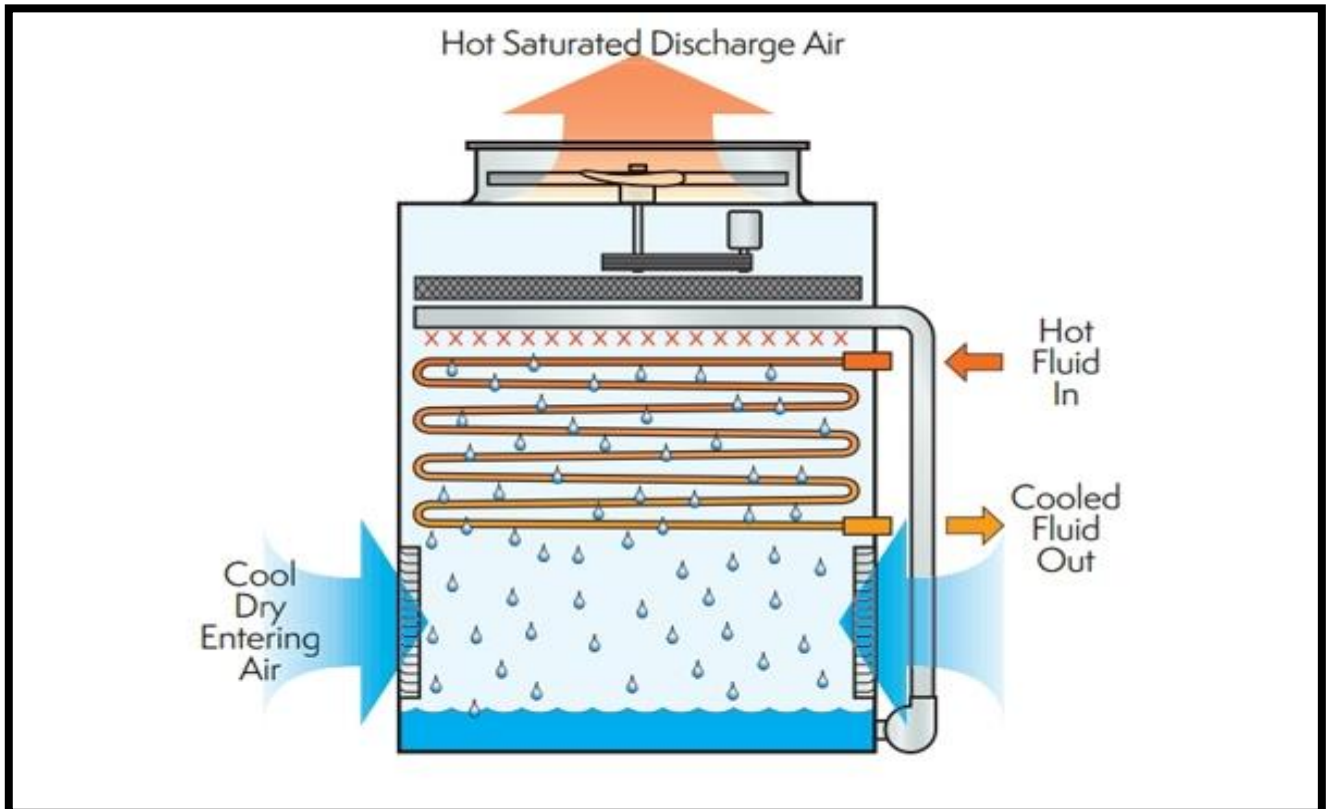
عندما تنظر إلي برج تبريد تجد مروحة من أعلى ... وعندما تنظر إلى آخر تجد المروحة جانبية! ما هي القصة؟ وهل لأبراج التبريد أنواع؟

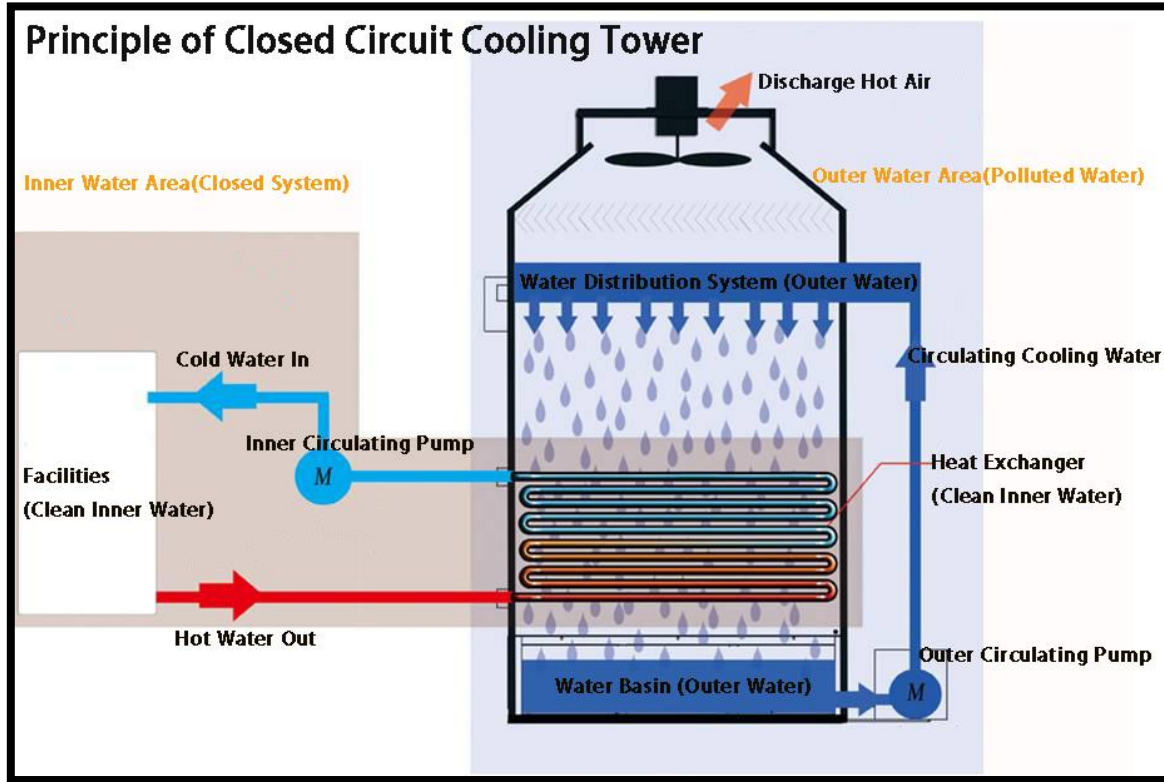
بالطبع توجد أنواع مختلفة لأبراج التبريد ... وحتى لا يتوه القارئ ... نقول أن هناك نوعين رئيسيين من أبراج التبريد ... الأول هو النوع المغلق (ذو الاتصال الغير مباشر بين الهواء والماء) وهو غير شائع وسوف نتحدث عنه أولاً حتى نتفرغ للنوع المفتوح ... أما النوع الرئيسي الثاني والأكثر انتشاراً فهو النوع المفتوح ذو الإتصال المباشر بين الهواء والماء وهذا النوع سيندرج تحته أنواع عديدة ومتفرعة ...

1- أبراج التبريد المغلقة ذات الإتصال غير المباشر:

تُسمى أيضاً أبراج التبريد الجافة وفيها يُستخدم ملف مبادل حراري heat exchanger coil داخل البرج يتم فيه تبريد المياه ... تمر في ال coil أو نسميها loop ... ويتم تبريدها بواسطة هواء يدخل من أسفل البرج مع منظومة رذاذ مياه خارجية من أعلى البرج وتنتقل الحرارة مع الهواء إلى الجو.

وهذا النوع يرد على من يعتبر برج التبريد المعتاد مبادل حراري ... فنقول هذا النوع من الأبراج هو بالفعل هو الذي يحتوي على المبادل الحراري ... انظر الصور:





ومن مميزات هذا النوع أن المياه القادمة من المبادل في المصنع والتي قد تحمل ملوثات ... لا تتصل مباشرة بالهواء الذي يصعد إلى خارج البرج وبالتالي نحمي البيئة المحيطة من التلوث ... كما أن العكس صحيح لو الهواء ملوث فلن يلوث المياه التي يبردها.

نرى مراوح شفط في أعلى البرج هنا ... ونرى منظومة المياه الخارجية التي تساعد على التبريد تسقط في الحوض basin وتعاد تدويرها مرة أخرى لتدخل على البرج من أعلى ثم إلى النازل التي تقوم بصناعة الرذاذ وهكذا!

2- أبراج التبريد المفتوحة ذات الإتصال المباشر:

وهي الأبراج الأكثر شهرة وأهم ما يميزها هو أنه يحدث اتصال مباشر بين الهواء والماء بالطريق التي أشرنا إليها من قبل (بالرشاشات أو الرذاذ ... وتبخير جزء من المياه إلى أعلى مع الهواء الصاعد إلخ) ... طريقة دخول الهواء إلى البرج جعلنا نقسمه إلى نوعين ... الأول ادخاله بطريقة طبيعية والثاني بطريقة ميكانيكية ولكل نوع ينبثق تحته عدة أنواع وإليك التفصيل:

1- أبراج تبريد ذات السحب الطبيعي:

(NDCT) Natural Draft Cooling Towers

هو أبسط أنواع أبراج التبريد ... يدخل الهواء طبيعياً من المنطقة السفلى من البرج من أى اتجاه تبعاً لاتجاه الرياح ويحدث التلامس بينه وبين المياه الساقطة من أعلى على هيئة رذاذ كما قلنا ... عندما يسخن الهواء تنخفض كثافته فيرتفع لأعلى فيما يُعرف بظاهرة الحمل الحراري الطبيعي natural convection (ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي

تحدث نتيجة ارتفاع درجة حرارة الهواء فتقل كثافته فيصعد لأعلى بشكل ذاتي دون تدخل أى قوة) ويخرج من المدخنة كما يظهر فى الصورة ... لذا فإن تصميم البرج بهذه الطريقة يساعد الهواء طبيعياً على الدخول من المنطقة السفلية بدون استخدام قوة (مراوح شفط) ثم يصعد إلى أعلى.

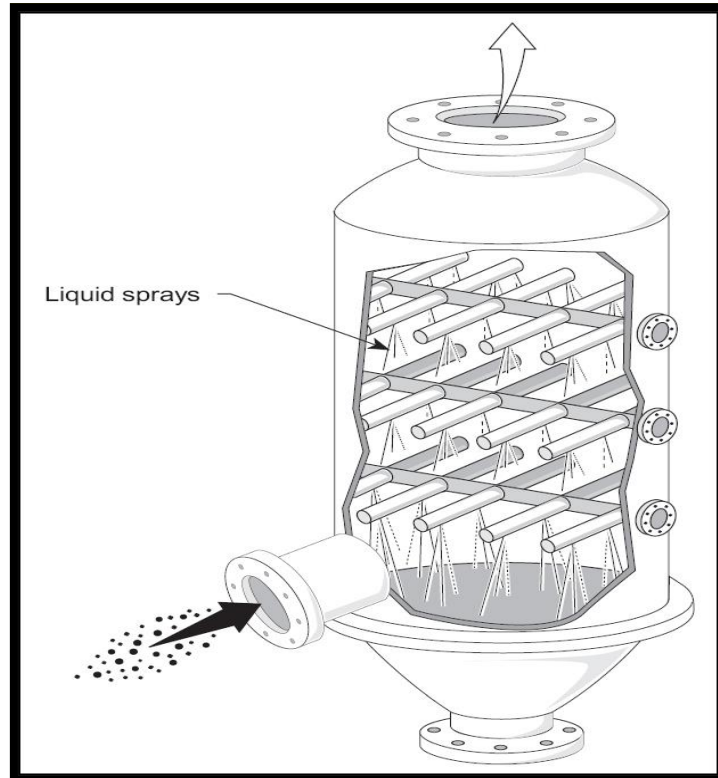
قبل إنشاء هذا البرج يتم دراسة اتجاه الرياح السائد وقوة الرياح لمدة عام وقياس الرطوبة فى الجو وأخذ المتوسطات وعمل رسومات بيانية Curves لأن ظروف أى منطقة تختلف عن أختها ... فلا يمكن مثلاً أن تكون الرياح فى مدينة ساحلية على البحر مثل مدينة داخلية لا تتعرض كثيراً للرياح ... ونلاحظ أن الفتحات الجانبية فى المنطقة السفلية تكون عادة من كل الجوانب أو من الجانب الذى يستقبل اتجاه الرياح السائد ... كما يُراعى فى بعض الأنواع أن يكون ديزاين البرج مرتفعاً ارتفاعاً عظيماً كما فى أبراج السحب الطبيعي.

نأخذ هذا النوع ونقسمه إلى نوعين فرعيين وهما:

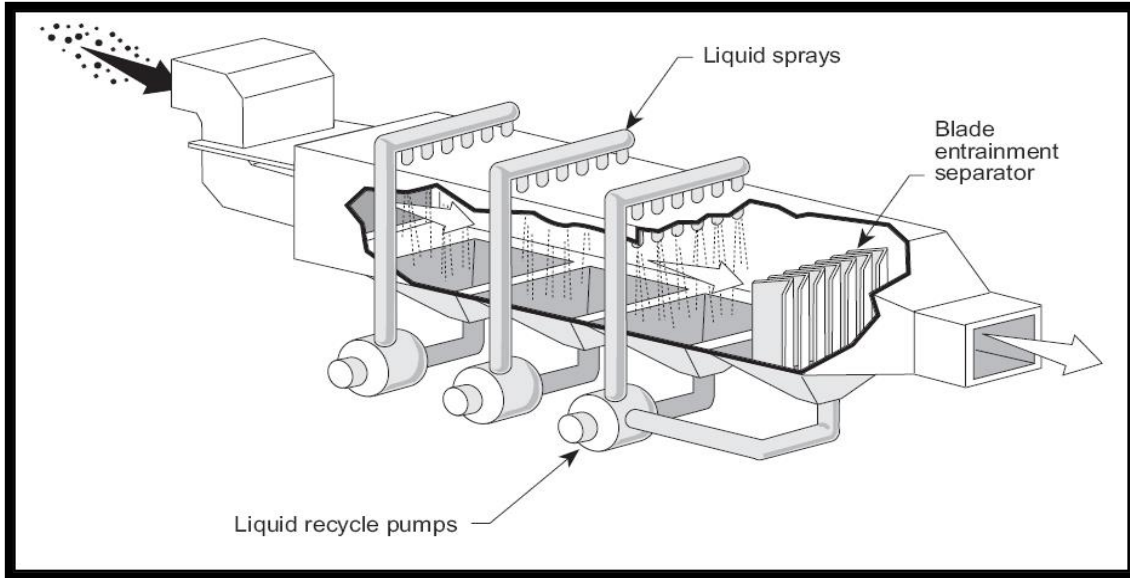
1- برج الرذاذ الجوي Atmospheric spray tower:

من اسمه نستنتج أننا نقوم بعمل رذاذ قوي من المياه القادمة من أعلى البرج بواسطة النوزلات ومن مستوى واحد أو عدة مستويات ليلامس الهواء فيسخن ويصعد لأعلى فيدخل الهواء من جانب البرج فى الجزء السفلي ليحل محله وهكذا ... لذا يكون اتجاه المياه والهواء معاكسين لبعضهما Counter current flow لذا فإن تأثير الرياح على كفاءة البرج تكون قوية ... وهذا النوع لا يحتوي على أى حشو ... وينقسم بدوره إلى نوعين تبعاً لحركة واتجاه الرذاذ ... إما أفقي horizontal spray tower أو رأسي vertical spray tower.

نختار هذا النوع إذا كنا نريد كلفة بسيطة وحجم صغير نسبياً للبرج كالذي يستخدم فى محطات الديزل.



من الممكن أيضاً عمل ديزاين بحيث يكون اتجاه المياه ليس عكس اتجاه الهواء ولكن بوضع عمودي عليه ... يعني cross current أو يسمونه "Co-current" كما بالصورة التالية:



ولذا لو سُئلت عن نوع ال configuration في أبراج الرذاذ الجوي تستطيع أن تقول أن نظام مياه في عكس اتجاه الهواء أو عمودية على الهواء.

2- برج ذو القطع الزائد ذو السحب الطبيعي (برج زائدي) Hyperbolic tower:

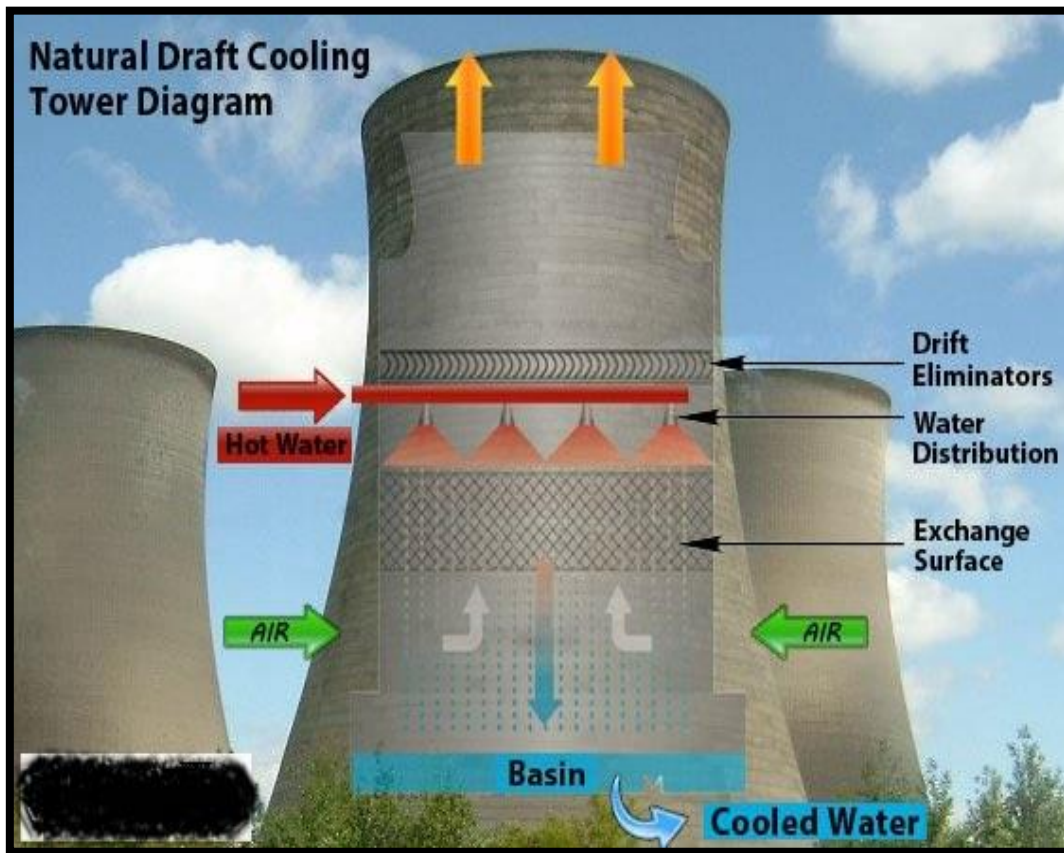
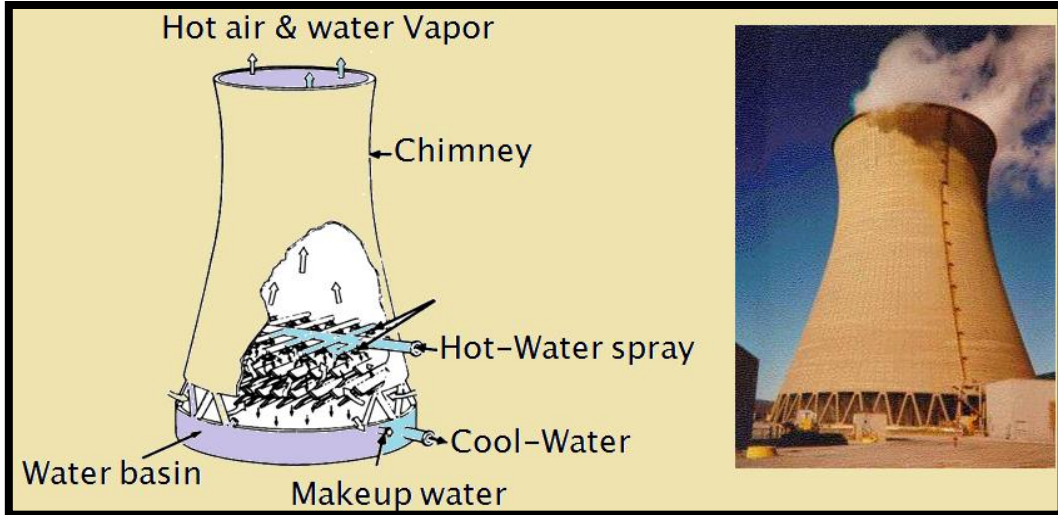
بناء خرساني يحتوي على ممر طويل أشبه بالمدخنة (Chimney) على هيئة قطع زائد وبإنسيابيته ... ويتميز عن النوع السابق بأن المدخنة تُحفز دخول الهواء الخارجي إلى البرج بسبب أن الديزاين يسبب فرق ملحوظ في كثافات الهواء في البرج فيسبب صعود الهواء ... ويكون تأثير الرياح هنا ضعيف بعكس النوع السابق ... ويستخدم هذا النوع في سعة تبريد لأحجام كبيرة مثل ما يتم في محطات توليد الطاقة الكهربائية (بارتفاع 100 - 150 متر وقطر من 50 - 260 قدم) ... وهذه صورة لهذا النوع:



أشهر مثال لهذا النوع من الأبراج هو أبراج غزل المحلة بمدينة المحلة الكبرى بمصر كما بالصورة التالية:



وهذه عدة صور متعددة توضح التركيب الداخلي للبرج ذو القطع الزائد ذو السحب الطبيعي (برج زائدي)
Hyperbolic tower:



وتتجمع المياه في حوض التجميع كما ترى في الصورة التالية لبرج تبريد عملاق:



من مميزات برج التبريد ذو السحب الطبيعي:

- 1- يستخدم في تبريد مياه بكمية كبيرة جداً تصل إلى 45 ألف متر مكعب في الساعة نتيجة لحجمه الكبير.
- 2- سهل التشغيل والصيانة.
- 3- رخص تكاليفه أثناء التشغيل بالرغم من سعره العالي نسبياً في بداية الإنشاء.

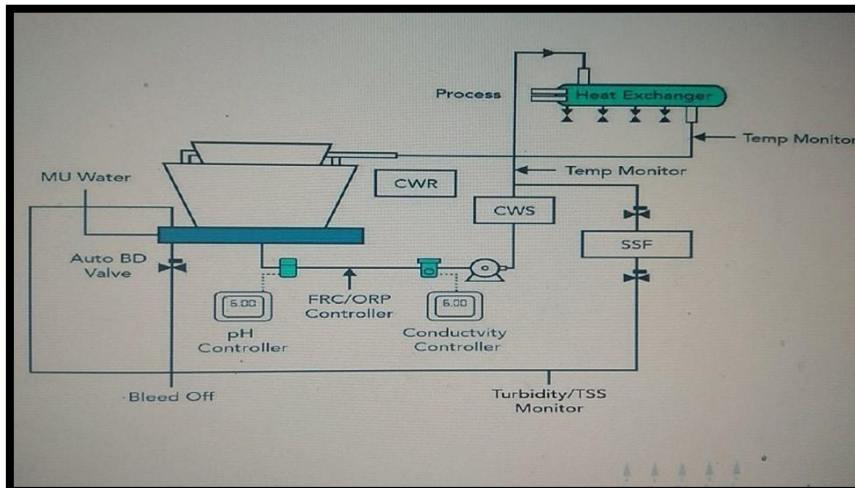
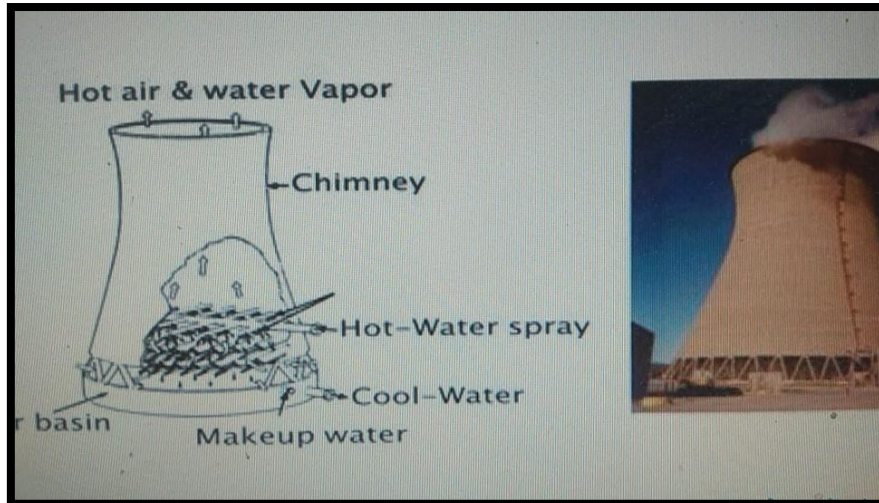
من عيوب برج التبريد ذو السحب الطبيعي:

- 1- يحتاج إلى مساحة كبيرة.
- 2- يحتاج في تشييده إلى مكان مفتوح لتتوافر الرياح.

تعليق المهندس عباس طاهر صالح:

من أنواع أبراج التبريد: أبراج التبريد المفتوح وينقسم الي أبراج تبريد ذات سحب طبيعي وأبراج تبريد ذات سحب ميكانيكي ومن مميزات السحب الطبيعي سهولة الأداء ورخص التكاليف والصيانة ... أما من أهم عيوبه أنه يتطلب مساحة كبيرة عن أبراج التبريد المغلقة.

وتفضل المهندس بعرض الصور التالية:



تعليق المهندس محمود عبد العزيز رزق:

أنواع أبراج التبريد:

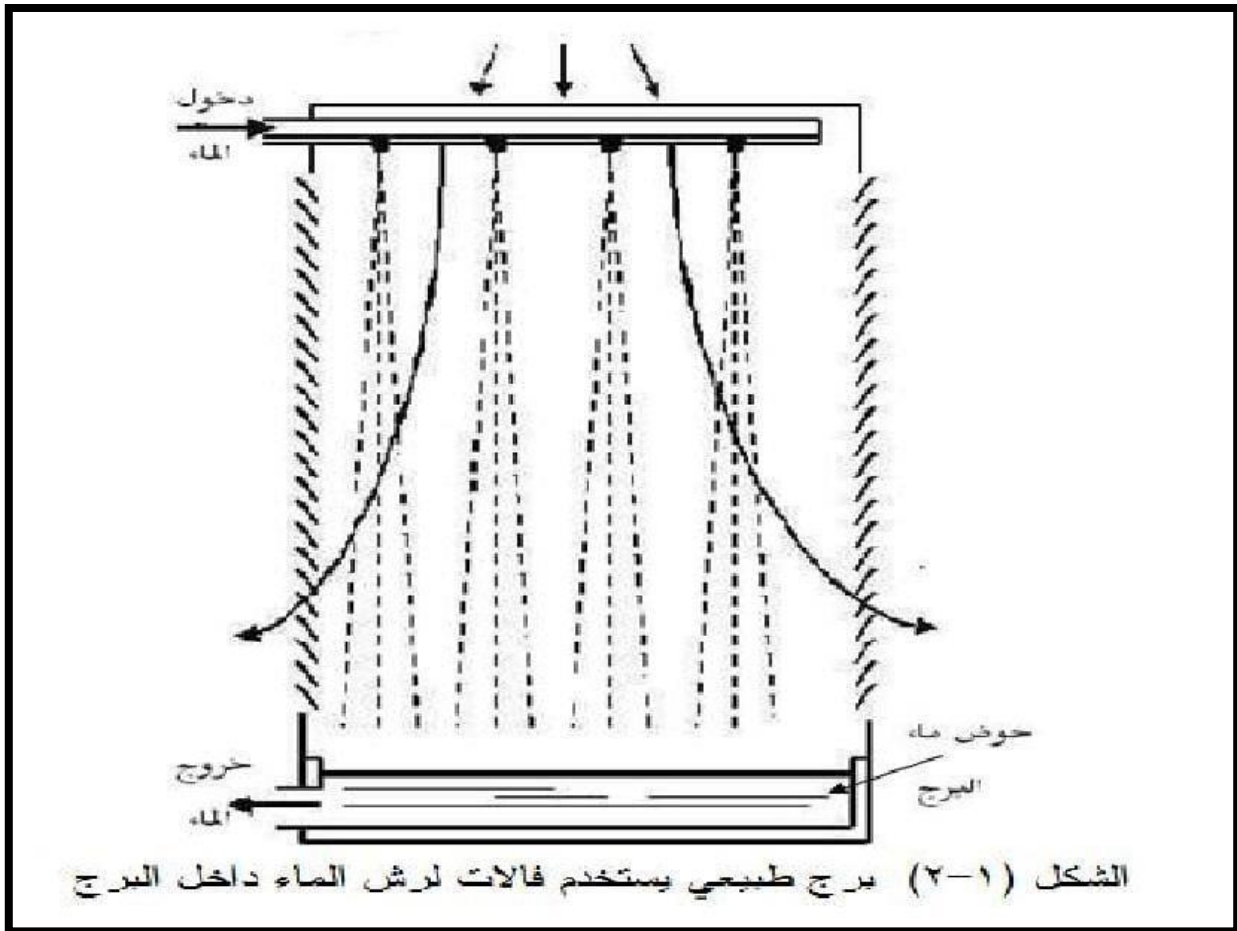
ويمكن تقسيم الأبراج من حيث سريان الهواء خلال البرج إلى أبراج التيار الطبيعية وأبراج ميكانيكية:

أولاً: أبراج التيار الطبيعية Atmospheric draft towers:

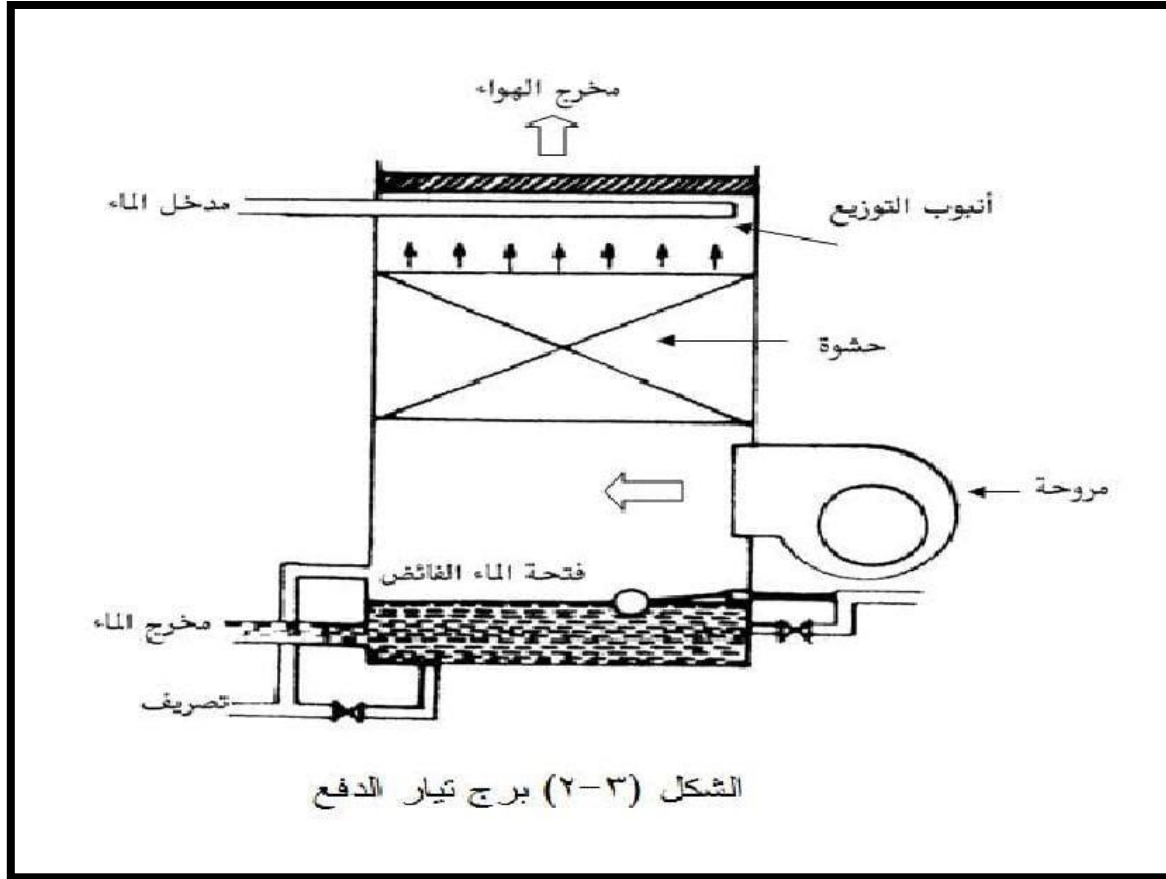
وهذه الأبراج تكون حركة الهواء فيها بدون آلات ميكانيكية (مراوح) وإنما تحدث بفعل طبيعي نتيجة فرق الكثافة للهواء وتسمى بأبراج التبريد الجوية.

وهذه الأبراج على نوعين:

أ. النوع الأول يستخدم فالات رش spray nozzles تعمل على نفث الماء الداخل إلى البرج من الأعلى على شكل قطرات صغيرة ليسقط إلى حوض ماء البرج في الأسفل الشكل (2-1).



ب. أما النوع الثاني فيستخدم سطوحاً أو حشوة fill لزيادة السطح المبتل في البرج وتحويل الماء إلى قطرات وكذلك لتقليل سرعة سقوط هذه القطرات إلى حوض البرج ... وهذا النوع ذو كفاءة أكبر من النوع الأول بنحو 20 - 30 % كما في الشكل (2-2).



ويجب أن تُنصب أبراج التيار الطبيعي خارج المباني أو أعلى الأسطح بحيث يمر عليها الهواء بحرية. كفاءة الأبراج الطبيعية منخفضة لأنها تتأثر بشدة واتجاه الرياح وبالتالي تكون الأبراج الطبيعية ذات حجم وارتفاع كبيرين .

خواص برج التبريد ذو التيار الطبيعي draft natural:

- 1- مساحة كبيرة.
 - 2- مكان يكون مفتوح.
 - 3- مكان لا يكون فيه الهواء راكداً.
- مميزات برج التبريد ذو التيار الطبيعي:

- 1- سهولة الأداء.
- 2- رخص التكاليف.
- 3- رخص الصيانة.

عيوبه:

- 1- يتطلب مساحة أكبر.
- 2- لابد من تواجده في مكان مرتفع لتكون سرعة الهواء أكبر.
- 3- لا يركب إلا في الأماكن المفتوحة.

2- أبراج تبريد ذات السحب الميكانيكي:

Mechanical Draft Cooling Towers (MDCT)

هي أوسع انتشاراً من الأولى ... وطالما قلنا "ميكانيكي" فإننا نستخدم قوة لسحب الهواء من الجو المحيط ... نسحب الهواء كي يدخل البرج من المنطقة السفلية ثم ليصعد لأعلى ليقابل المياه الساخنة ... هذه القوة الميكانيكية تتمثل في مراوح شفط توضع في أعلى البرج (أو في المناطق الجانبية على جدران البرج) أو في الجزء السفلي من البرج أو بلاورات كما سنتكلم بعد قليل ... ونلاحظ وجود فتحات في السطح العلوي للبرج (الرووف roof) أو فتحات Exhaust لخروج الهواء الساخن المُحمل بالبخار.

سرعة مراوح الشفط تكون محسوبة لتقليل درجة حرارة المياه للدرجة المطلوبة.

سحب الهواء بقوة هنا يساعد في زيادة كفاءة التبريد لا شك حيث يتم زيادة سرعة الهواء الذي يلامس المياه ... ولذا ما هو توقعك من حجمين متساويين من برج التبريد ... واحد يعمل بهذه المنظومة والآخر بالمنظومة الطبيعية (النموذج السابق) ... أيهما سيكون أكثر كفاءة؟

يُضاف إلى ذلك أن هذا النوع من الأبراج لا يعتمد على التغيرات في الظروف الجوية واتجاه أو قوة الرياح مثلما يحدث في نظام السحب الطبيعي ... كما أنه يقلل الفقد في المياه المتصاعدة من البرج ... وأيضاً يأخذ مساحة أصغر ولا يحتاج لمكان مفتوح.

ومعدل التبريد في برج التبريد ذو السحب الميكانيكي يعتمد على سرعة المروحة وحجمها

وينقسم هذا النظام الميكانيكي إلى نوعين حسب طريقة ادخال الهواء إلى البرج:

1- البرج ذو الهواء المدفوع (Forced draft tower (FDT): تتم بواسطة مروحة دفع على مدخل الهواء من أسفل البرج.

2- البرج ذو الدفع المستحث (Induced draft tower (IDT): تتم بواسطة مروحة على مخرج الهواء من أعلى البرج.

واليك التفصيل:

1- البرج ذو الهواء المدفوع (Forced draft tower (FDT):

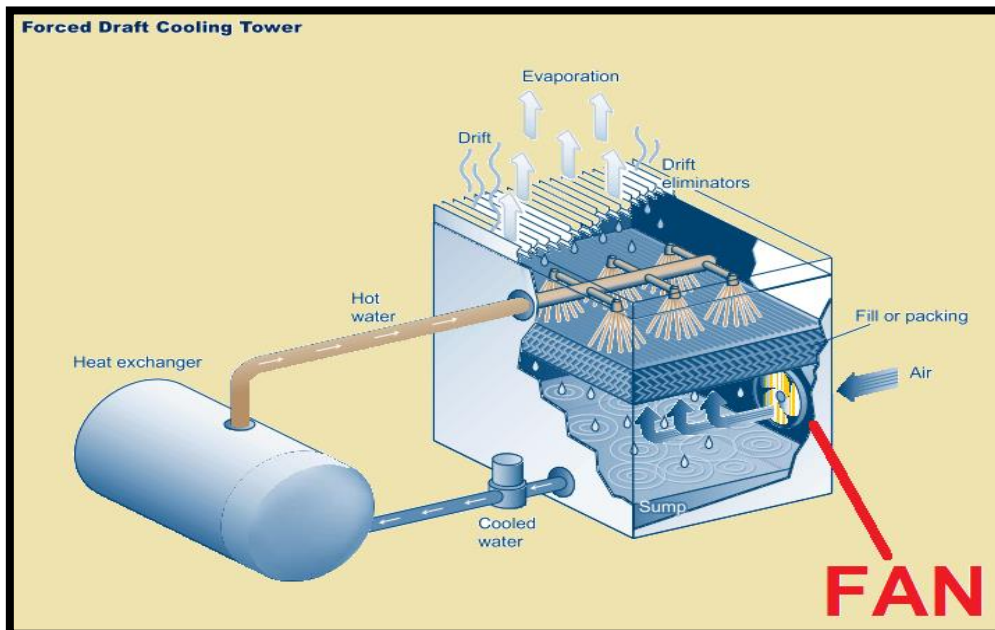
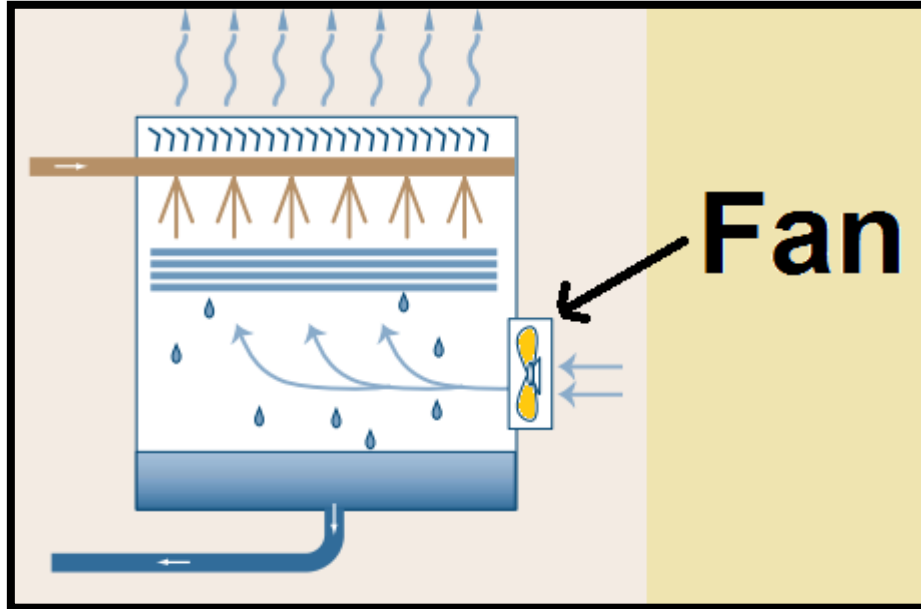
نقول forced يعني ندخل الهواء للبرج بالإكراه ... حيث توضع المراوح (مروحة طاردة مركزية Centrifugal fan) في منطقة مدخل الهواء في أسفل البرج ... تُسمى "مروحة الدفع" أو نطلق عليها Blowers ... ولذا تكون حوائط البرج مغلقة ماعدا المنطقة التي توضع فيها المروحة ... ويتم دفع الهواء بالقوة من مدخل البرج إلى أعلى ومنه إلى المخرج ... فيتم تلاقي المياه والهواء في اتجاهين معاكسين ... ولذلك نسمي هذا النوع أيضاً counter flow forced draft ...

هو نوع أكثر كفاءة من البرج ذو الدفع المستحث ... لدرجة أن درجة حرارة الهواء تنخفض إلى الصفر فيكون جليد على ريش المروحة وتسبب تكسيرها!

من فوائد هذا النوع أن الإهتزازات والضوضاء تكون أقل من النوع الذي يستخدم مراوح الشفط داخل البرج من أعلاه ... كما أن المرواح تدفع هواء جاف لداخل البرج فنتجنب مشاكل الصداً أما النوع الثاني فإن المروحة تشفط الهواء داخل البرج وقد ابتلت أطرافه من المياه التي قابلها ... ولذا يكون الصداً في هذا النوع أقل من البرج ذو الدفع المستحث ... ويعيب هذا النوع أن المروحة تكون لها حجم محدود (قطر 3 متر على الأقل) ... كما أن قدرته على سحب الهواء تساوي تقريباً نصف قدرة مروحة الشفط في البرج ذو الدفع المستحث مما يرفع تكلفته عن ال Induced draft

.tower

انظر إلى مكان المروحة وسريان المياه والهواء في الصور التالية:



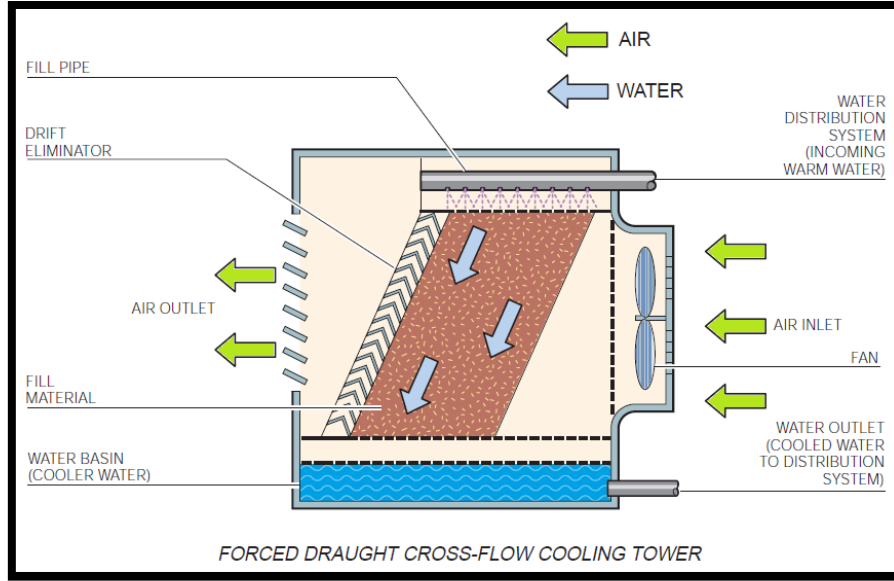
نوع آخر من البرج ذو الهواء المدفوع (FDT) Forced draft tower يحدث فيه أن يكون اتجاه المياه عمودى على اتجاه الهواء ... يعني cross-flow forced draft tower ... يشبه في ذلك ما قلناه في الأبراج ذات السحب الطبيعي ... كل ما في الأمر أن الفكرة تعتمد على اتجاه المياه والهواء ... وفى هذا النوع يدخل الهواء من الجوانب بواسطة مراوح دفع كبيرة نوعاً ما ويخرج من الجانب الآخر كما تري فى الصور التالية:



Cross Flow Cooling Towers



وبالطبع لا مجال لوضع اللوفرات Louvers فى هذا النوع على جانبي البرج (راجع النقاش الخامس):



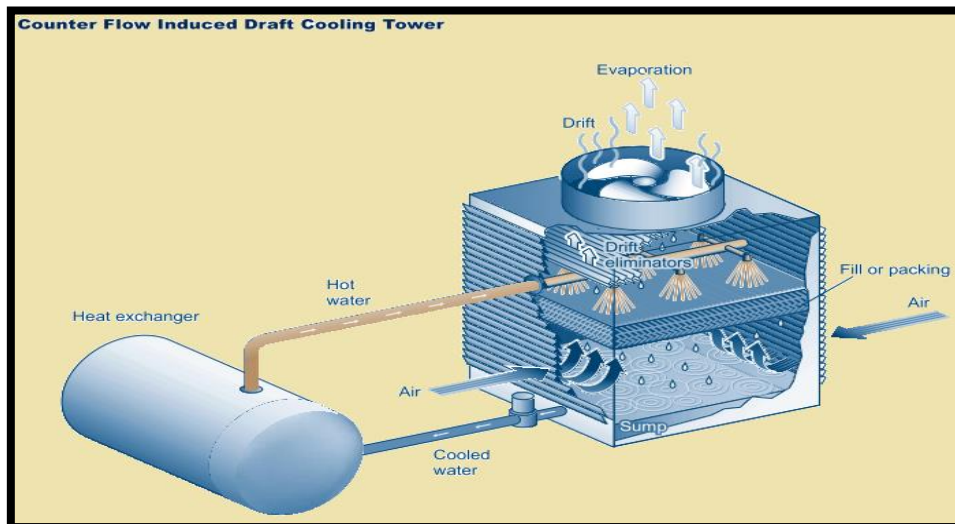
2- البرج ذو الدفع المستحث (Induced draft tower (IDT):

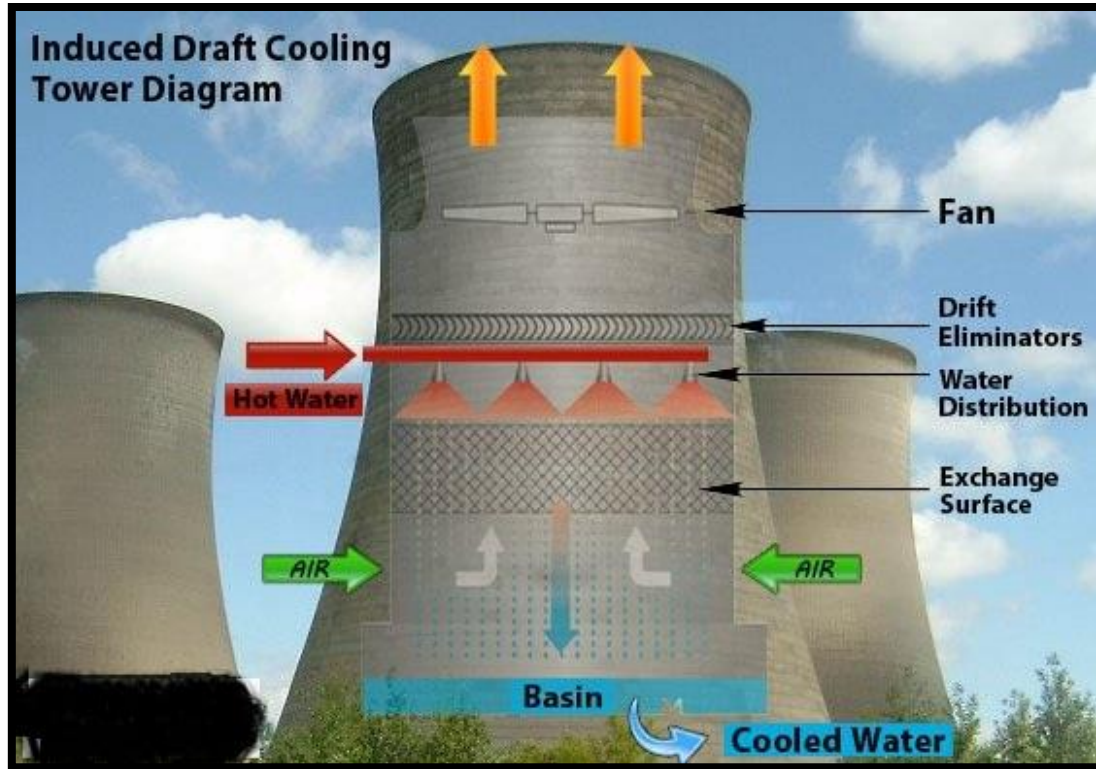
توجد هنا فتحات لدخول الهواء في الجزء السفلي ... وتوضع مراوح بالقرب من سطح البرج طاردة تُحفظ الهواء وتُخْتَه على الاندفاع من أسفل لأعلى ... ولكن لا يوجد إجبار مباشر على الدخول إلى البرج ... هذا يُشبهه "شفط المطابخ"! حيث تشفط المروحة الهواء من داخل المطبخ إلى خارجه ... وبالتالي طبيعياً يدخل الهواء من باب المطبخ أو من نوافذ أخرى ليحل محل الهواء المشفوط !

المراوح هنا تكون أكبر من برج الforced draft (حوالي 8 متر قطر) ولا نستطيع أن نقول أن أحد النوعين السابقين أفضل من الآخر ... ولكن يعتمد ذلك على الديزاين ... كما أن الطاقة المستخدمة في نوع الinduced أقل من الforced كما قلنا.

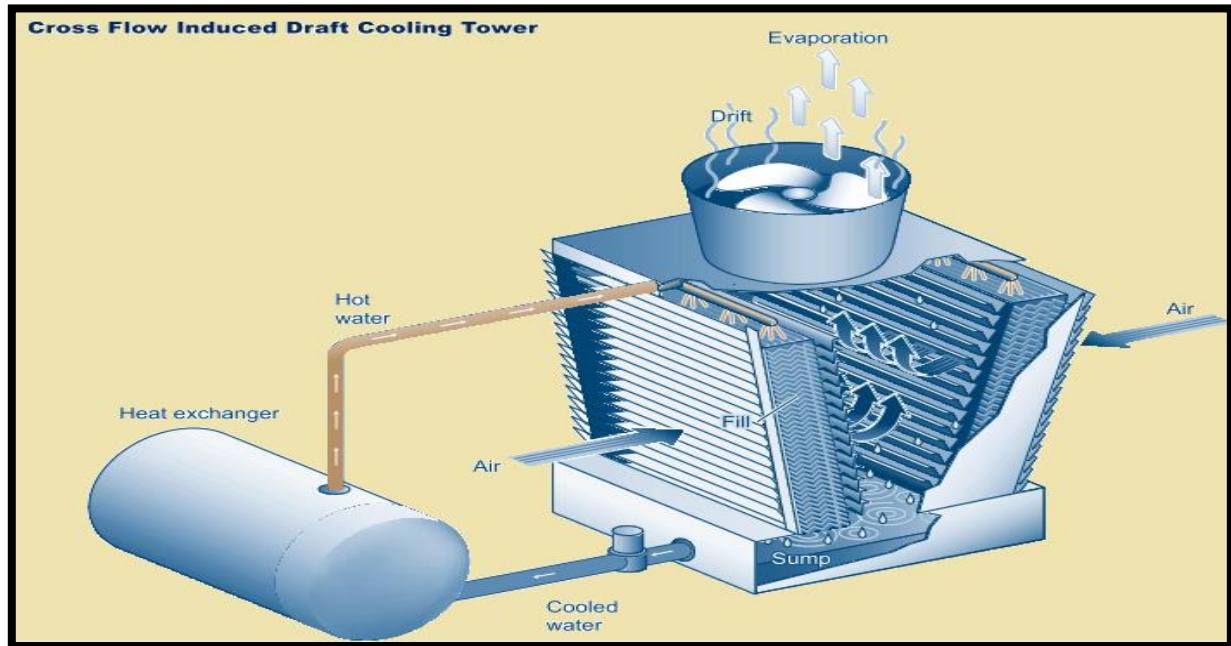
والبرج ذو الدفع المستحث ينقسم إلى نوعين:

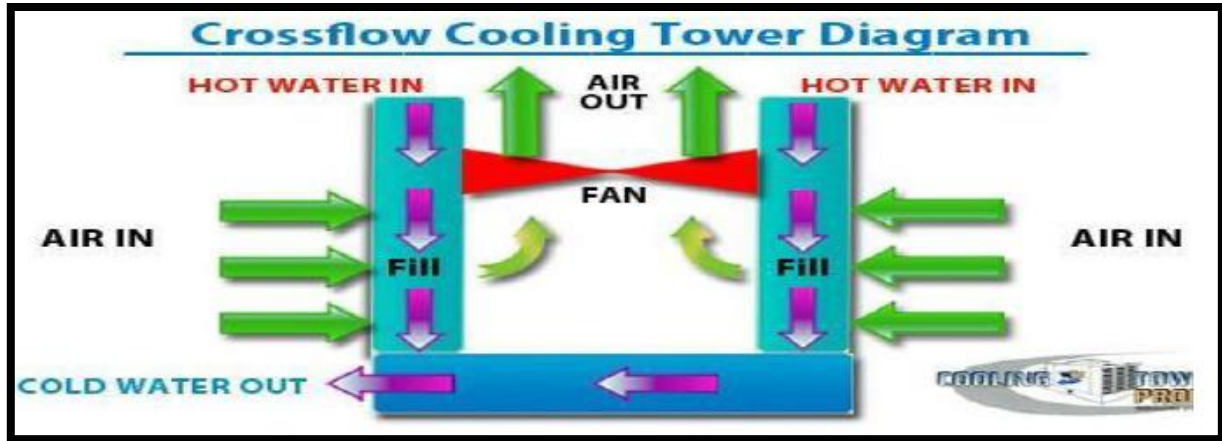
إذا تم دفع الهواء لأعلى "عكس" اتجاه حركة المياه الساقطة فإن نوع البرج في هذه الحالة يُسمى Induced draft counter flow ... ولا شك أننا نحتاج هنا إلى Drift eliminator ... انظر الصورة:



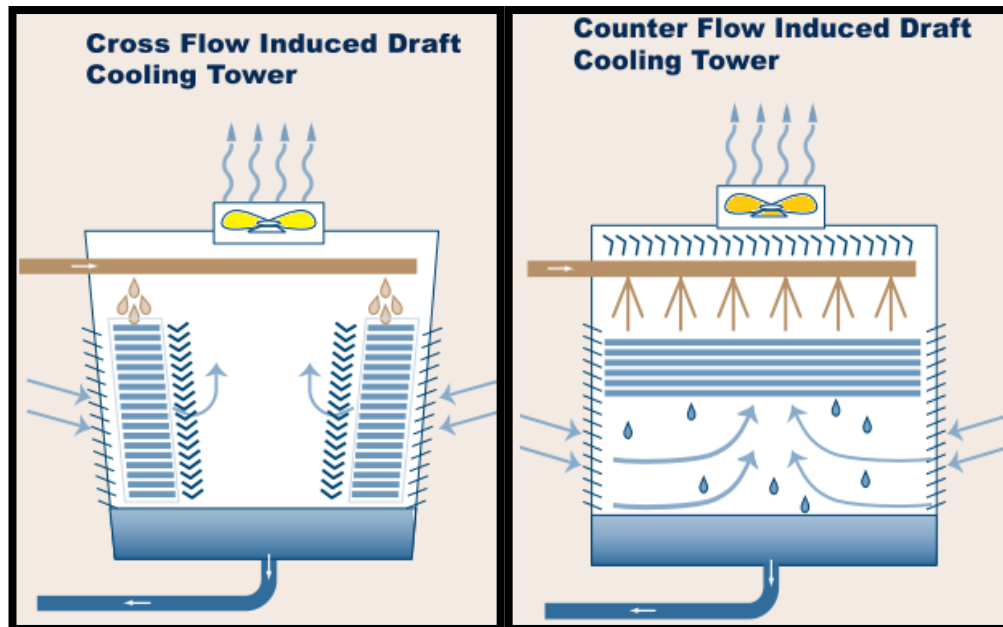


وقد يُصمم البرج ذو الدفع المستحث بحيث تسقط المياه في المناطق الجانبية والهواء يدخل أفقياً في المنطقة السفلية من البرج ليتخلل مياه تسقط عليه عمودياً... على جانبي البرج (يعنى تكون عمودية على اتجاه الهواء وليس في عكس اتجاهه كما في الحالة السابقة) ... في هذه الحالة تُسمى Induced draft cross flow ... تماماً كما ذكرنا من قبل ... انظر الصورة:

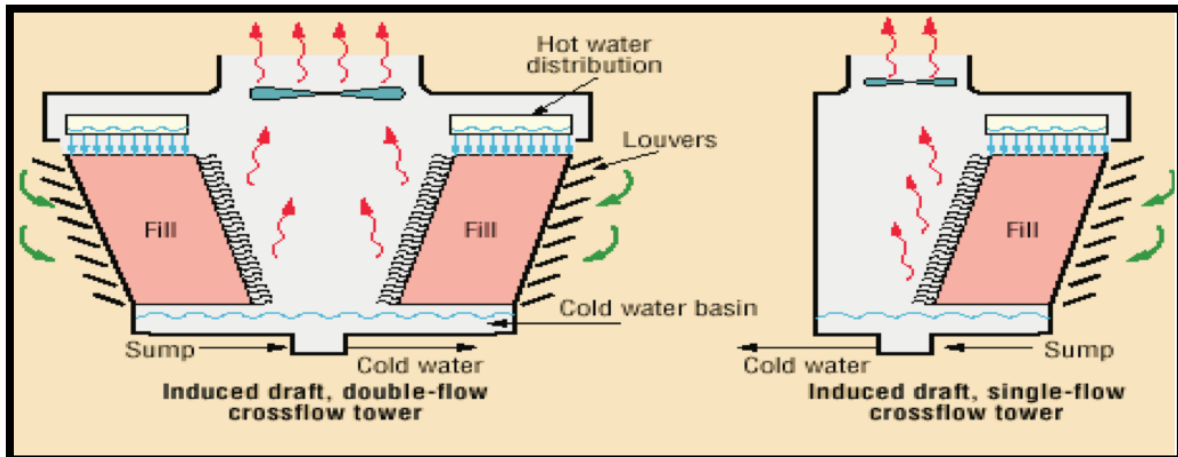


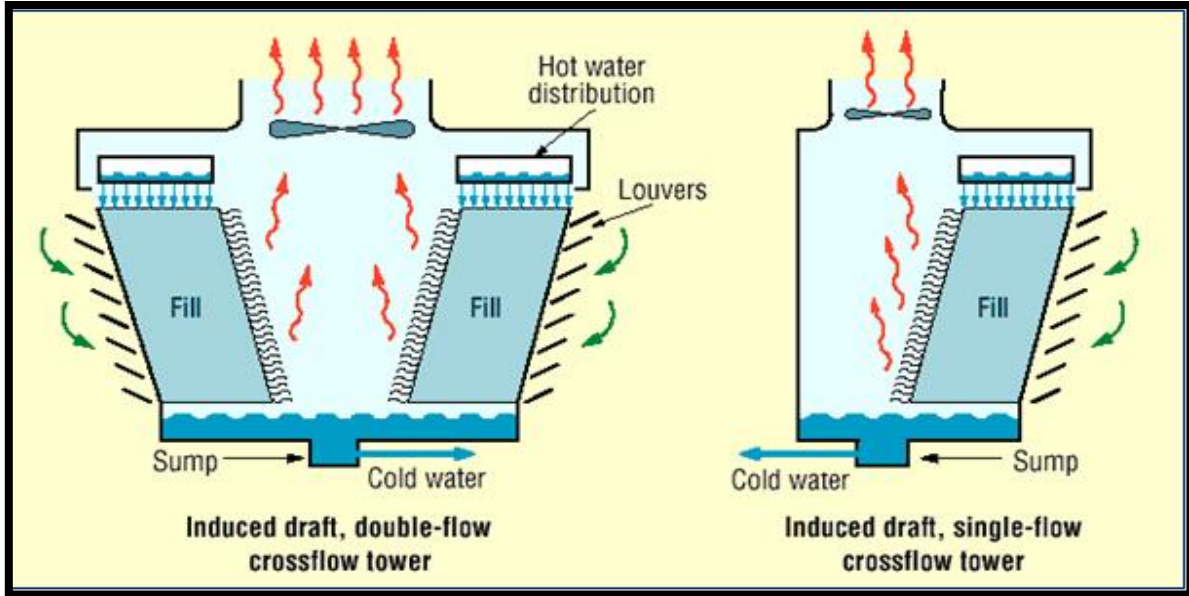


انظر الصور التوضيحية التالية لتلاحظ الفرق بين النوعين:



بالنسبة للInduced draft cross flow قد يتم تبريد المياه في جانب واحد فيسمى single-flow tower ... ولو كان على الجانبين فيسمى double-flow tower انظر الصورة التوضيحية:





تعليق المهندس محمود عبد العزيز رزق:

نُكمل جزئية تقسيم الأبراج من حيث سريان الهواء خلال البرج:

ثانياً: أبراج ميكانيكية Forced draft:

وتسمى أيضاً بأبراج التبريد ذات التيار الهوائي القسري (الجبري) ... وهي شائعة الاستعمال في هندسة التكييف والتبريد للهواء. وتمتاز هذه الأبراج بأنها أقل حجماً وأقل وزناً وكفاءة أعلى ولها مقدرة على مواجهة الحمل عند تغير درجات الحرارة للهواء.

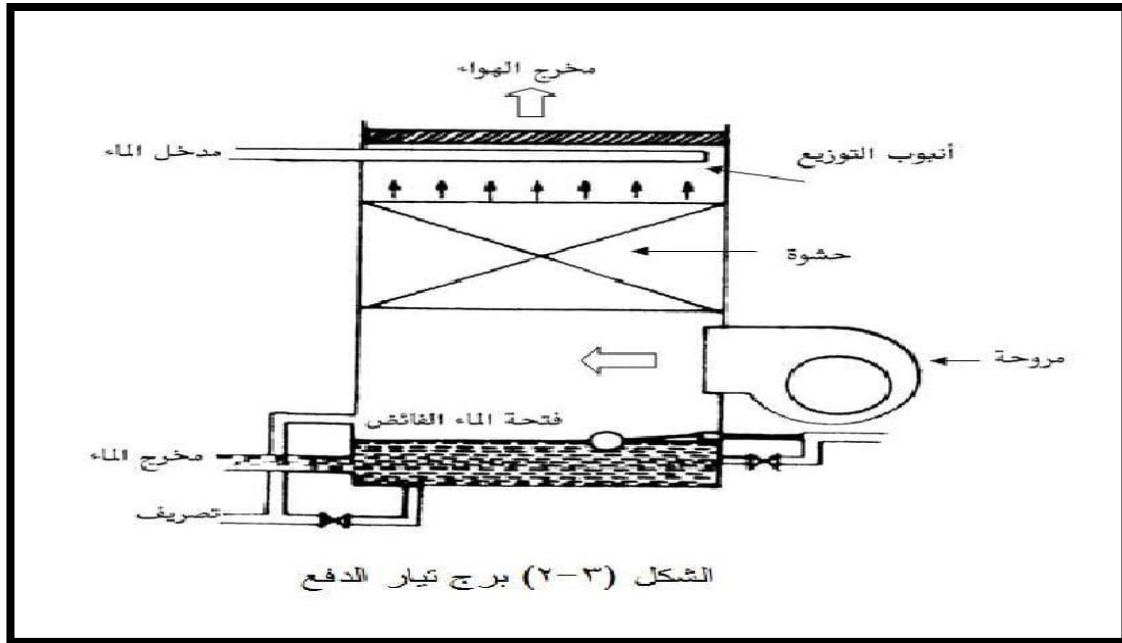
ويستخدم هذا النوع من الأبراج في الحالات الآتية :

- 1- في الحالات التي يتعذر وجود مساحة كبيرة له .
- 2- عدم وجود مساحات مفتوحة مواجهة للريح .
- 3- في الأماكن التي يكون فيها الهواء راكداً.

وتصنف الأبراج الميكانيكية إلى :

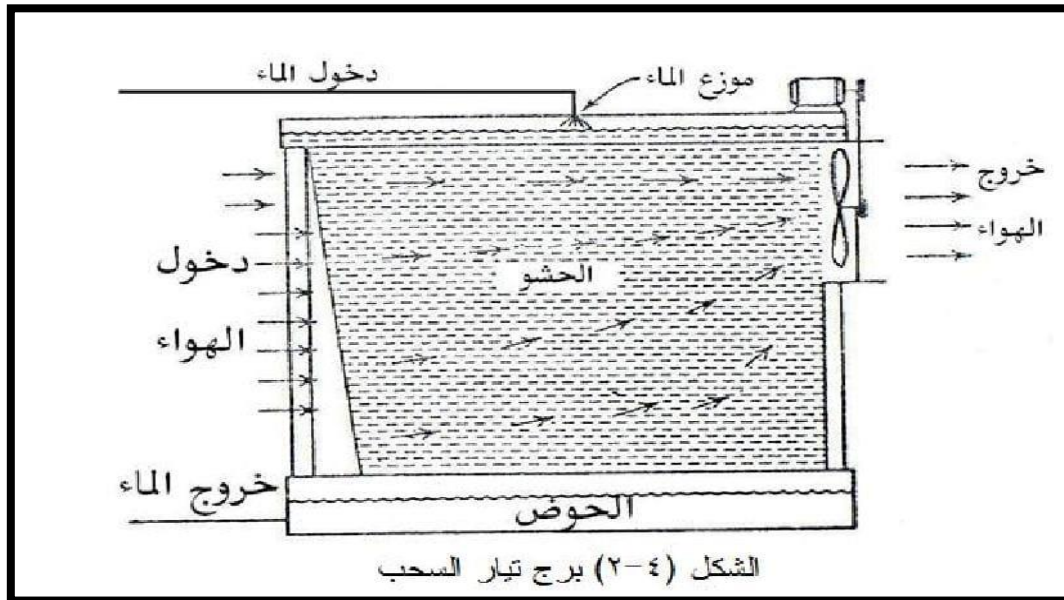
أ. أبراج تيار الدفع:

تعمل المروحة على دفع الهواء خلال البرج ويكون ضغط الهواء داخل البرج أكبر من الضغط الجوي ... وتوضع المروحة عند مدخل برج التبريد . كما في الشكل (2-3):



ب. أبراج تيار السحب (Induced draft)

تعمل المروحة على سحب الهواء من البرج ... يكون ضغط الهواء داخل البرج اقل من الضغط الجوي ... أي أن ضغط الهواء داخل البرج يكون سالب وموجب في حالة الدفع حيث توضع المروحة في نهاية البرج كما في الشكل (2-4):



تكون المروحة في حالة الدفع من النوع الطارد عن المركز أو المحوري بينما في حالة السحب تكون من النوع الترددي تستخدم مع أبراج التبريد موانع (Eliminators) لمنع خروج قطرات مياه مع الهواء الخارج من البرج.

يضخ الماء الساخن القادم من المكثف إلى أعلى البرج حيث يتم رشه إلى أسفل البرج بواسطة مجموعة من الرشاشات .

انخفاض الضغط الأمثل للرشاشات هو 50 كيلو نيوتن / متر مربع.

تحتوي أبراج التبريد عادة على حشو من الخشب (Decking) لزيادة مساحة السطح المبلل ولتنذرية المياه إلى قطرات صغيرة والعمل على تباطئ سقوط القطرات إلى قاع الحوض .

هل نحتاج لأكثر من برج تبريد؟

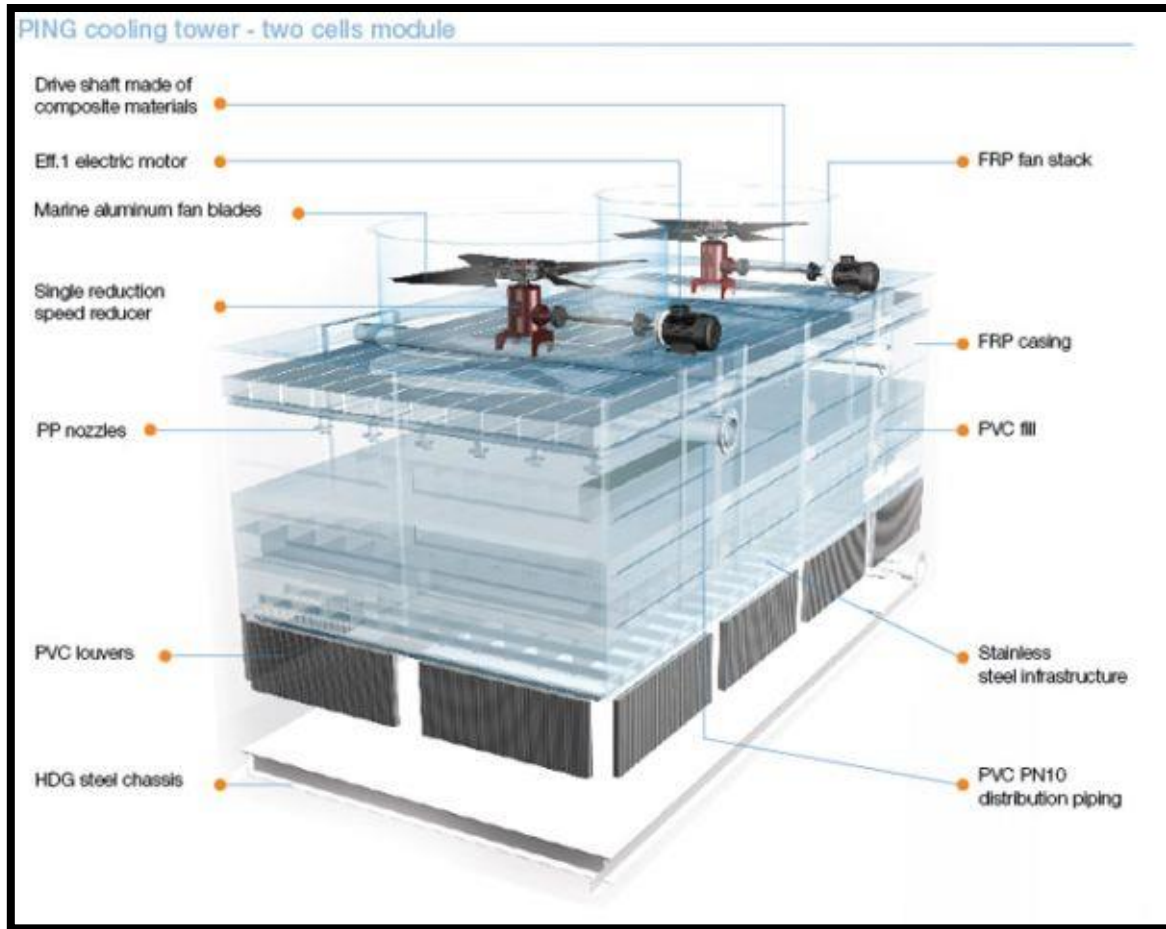
أحياناً نحتاج لأكثر من برج للتبريد على التوازي إذا كانت درجة حرارة المياه تصل إلى قيم عالية وكمية المياه كبيرة حيث يتم توزيع الحمل الحراري على البرجين.

مثال عملي: تبريد كمية مياه تصل إلى 150 – 200 متر مكعب /ساعة ودرجة الحرارة فوق الـ 60 درجة مئوية ... ونريد أن نصل بها إلى الحرارة العادية (25 مئوية) نحتاج من برجين إلى أربعة.

نستخدم برجين تبريد أم برج واحد بخليتين؟

ما معنى هذا الكلام؟؟

أحياناً يتطلب سعة كبيرة لبرج التبريد (لتبريد منظومة واحدة) فيتم تصميم برجين منفصلين ... أو برج واحد (وحدة بخليتين متلامستين) ... Cooling tower with 2 cells modules ... انظر الشكل التالي تجد برج بخليتين:



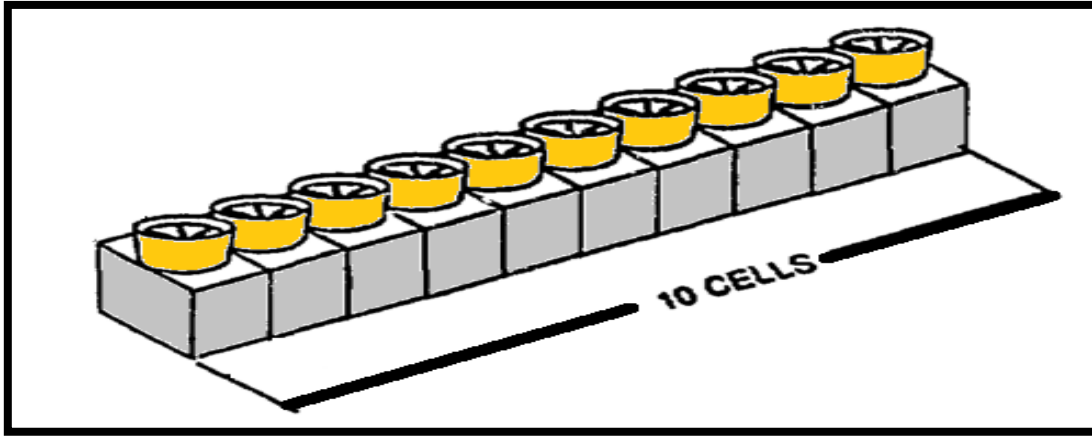
هذه الخليتان لها تصريف واحد (one Sump) ومن فوائدها أنها توفر كثرة الخطوط التي نستخدمها في حالة بناء برجين منفصلين ...

وبالطبع البرجين المنفصلين بالرغم من التكلفة الأعلى إلا أنها أفضل في حالة حدوث shutdown طويل فإنه من الممكن الاستغناء عن واحد وتشغيل الآخر ولو بنصف الكفاءة.

قد نستخدم برج تبريد بعدة خلايا (أكثر من خليتين) ونسميه Multi-cell unit.

وتوجد بأحد شركات البترول المصرية العملاقة 6 أبراج تبريد (6 خلايا منفصلة) بسعة 2500 متر مكعب/ ساعة ... ومن الممكن تشغيل خمسة لتقوم بالتبريد المطلوب والسادسة تكون في الصيانة أو احتياطي ... ولذلك كان النوع المنفصل أفضل.

انظر إلى هذا البرج يحتوي على 10 خلايا:



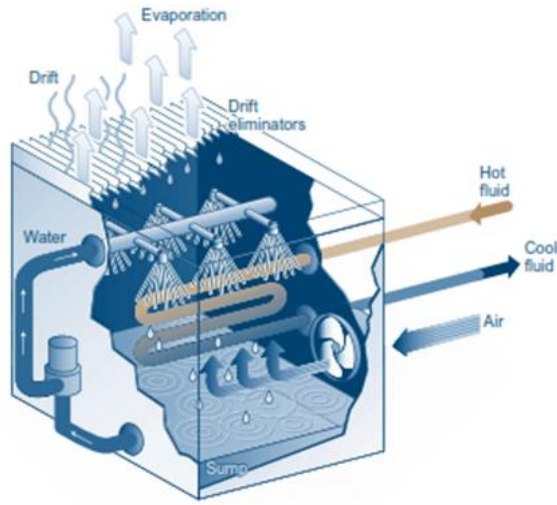
تعليق المهندس أيمن موسيليني عارف:

أنا عندي برجين تبريد ... أحدهم يتكون من عدد 6 خلايا ... إجمالي circulation = 20000 متر مكعب/ ساعة ... مقسمة على عدد الخلايا الستة ... وفي فصل الشتاء ولانخفاض درجة الحرارة من الممكن عزل خلية ... وطبعاً يتم توزيع مياه الخلية المعزولة على الخلايا الخمسة ... وهنا يجب طبعاً أن يكون توزيع المياه على باقي الخلايا بالتوازي لأن أي سريان زائد يُسبب كسر في النوزل ومن ثم تأثيرها على كفاءة التبريد ... وأيضاً تأثير كسر النوزل السلبي على الحشو قد يحدث به قطع في بعض أجزائه ... وأيضاً عند عزل خلية فلا بد من ترك معدل سريان قليل ... أولاً لعدم تكون طحالب على جدران الخلية وأيضاً لعدم جفاف الخشب وخاصة إن توقفت الخلية لفترة طويلة قد يضر بالخشب الحامل للخلية ... وأيضاً حوض تجمع المياه بالخلية المعزولة لابد أن تتغير فيه المياه لعدم تكون بكتيريا وفطريات في المياه الراكدة ... لذا فائدة وجود سريان قليل للخلية بعد عزلها له إيجابيات للأسباب التي ذكرت ...

3- المبرد التبخيري (Evaporating cooler):

هو نوع أخير من أبراج التبريد لن يحظى باهتمامنا هنا ... وقد يوضع على أسطح المنازل بغرض تبريد الهواء خلال تبخير الماء مثل فكرة الفريون ... ونستخدم فيه نظام الرشاشات (النوزلات) ... ويعتبر مبادل حراري داخلي ... وسنشير إليه وإلى دوره في أنظمة الشيلر بعد ذلك.

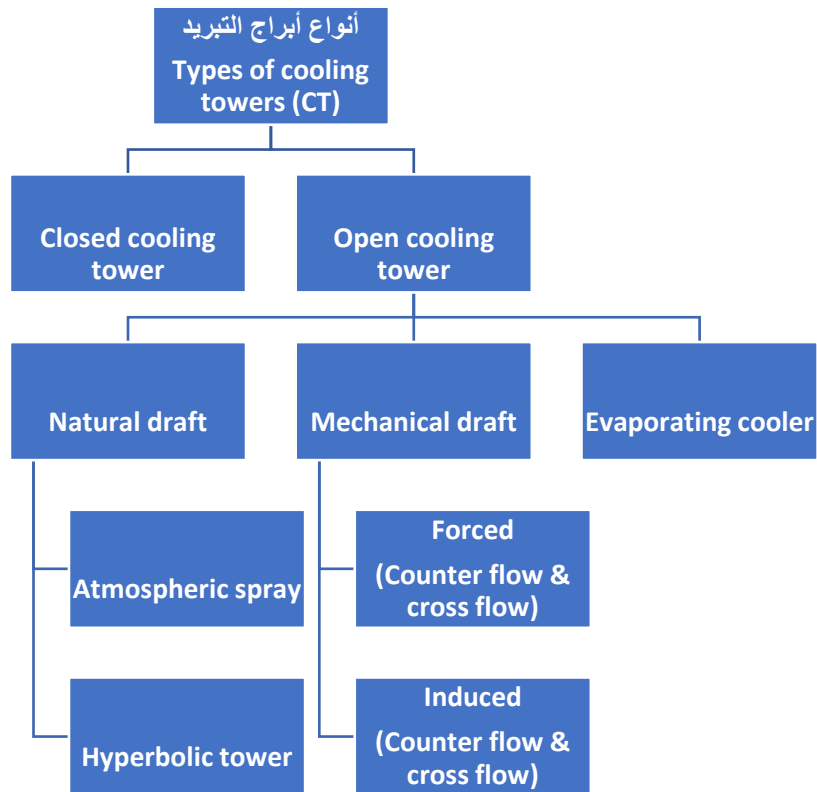
A device that cools air through the evaporation of water



Evaporative cooler

تعليق المهندس أحمد أحمد ماضي: **Ahmed Ahmed Mady**

هناك أنواع من أبراج التبريد تسمى **Evaporate condenser** هذه الأبراج يتم تبريد الأمونيا بداخلها عن طريق التجربة ... ولابد من استخدام مياه **soft water** نتيجة لإرتفاع ال **skin temperature** داخل مياه البرج.



وهكذا ألقينا الضوء على أنواع أبراج التبريد ومكوناته وشرح مبسط لما يحدث فيه ... وننتقل في النقاشات التالية لبعض المعادلات وكيفية التشغيل ثم ندخل على الكيمياء والبيولوجي عندما نتعرض للمشاكل وكيفية حلها ...

ويتحدث المهندس شعيب شعبان بالتفصيل عن أنواع أبراج التبريد ومحتوياتها:

أنواع أبراج التبريد:

1- أبراج التيار الطبيعية (Atmospheric draft towers): وتنقسم إلى نوعين :-

النوع الأول يستخدم فالات رش spray nozzles تعمل على نفث الماء الداخل إلى البرج من الأعلى على شكل قطرات صغيرة ليسقط إلى حوض ماء البرج في الأسفل .

النوع الثاني يستخدم سطوحاً أو حشوة fill تعمل على السطح المبتل في البرج وتحويل الماء إلى قطرات وكذلك لتقليل سرعة سقوط هذه القطرات إلى حوض البرج ... وهذا النوع ذو كفاءة

أكبر من النوع الأول بنحو (30% : 20%) .

2- أبراج ميكانيكية Forced draft : وتنقسم إلى :-

أ. أبراج تيار الدفع .

ب. أبراج تيار السحب (Induced draft) .

3- الأبراج التبخرية.

أنواع أبراج التبريد:

تصنف أبراج التبريد حسب طريقة انتزاعها للحرارة من الماء الداخل إليها وطردها إلى الجو وكذلك حسب طريقة تدوير الماء فيها ألا أنها تصنف بشكل عام إلى نوعين رئيسيين هما

1: أبراج التبريد المفتوحة . (الاتصال المباشر).

2: أبراج التبريد ذات الدورة المغلقة . (الاتصال غير المباشر).

وتكون أبراج التبريد المفتوحة إما ذات تهوية طبيعية أو ميكانيكية وأن مبدأ عملها هو رش الماء على مساحة سطحية واسعة لإتاحة الفرصة الكافية لملامسة الهواء المار خلالها وبالتالي تبخر جزء من الماء ناقلاً معه الحرارة المراد طرحها .

أما أبراج التبريد المغلقة والتي تدعى بالجافة فإن مبدأ عملها هو استخدام مبادل حراري يمرر بداخله ماء المكثف الساخن ويتم نقل الحرارة منه إلى الجو .

أبراج التبريد المفتوحة open-cooling tower أو برج التبريد ذو الاتصال المباشر (Direct-contact cooling tower) حيث يتعرض الماء المطلوب تبريده مباشرة إلى الهواء الجوي وهنا يتم انتقال الحرارة من الماء مباشرة إلى الهواء وتنقسم إلى :-

أ- أبراج تبريد ذات السحب الطبيعي Natural draft

ب- أبراج التبريد ذات السحب الميكانيكي Mechanical draft

أ- أبراج التبريد ذات السحب الطبيعي Natural – Draft cooling power:

في هذا النوع ينساب الهواء طبيعياً بدون مراوح خلال البرج بواسطة تيارات الحمل الحُرنتيجة اختلاف كثافة الهواء داخل البرج ويعطي التبريد المطلوب ويقسم :-

1: برج التبريد الرذاذ : (Atmospheric Spray Tower):

هذه الأبراج لا تحتوي على أي حشوة ولا تحتوي على أي آلات لتحريك الهواء وتعتمد في عملها على ترويض الماء وبثقه بقوة لسحب الهواء إلى داخل برج التبريد حيث يكون لتأثير بثق الماء بشكل رذاذ أنه يحث الهواء إلى المرور خلال البرج بشكل موازي لحركة الرذاذ وبالحالتين:

A- برج الرذاذ العمودي :- Vertical Spray Tower

B- برج الرذاذ الأفقي :- Horizontal Spray Tower

في هذا النوع من الأبراج يتعرض الماء إلى الهواء بدون أي وسط ناقل للحرارة أو حشوة إما مقدار مساحة سطح الماء المتعرضة للهواء فتعتمد على كثافة المرذذات وفترة الإتصال بين الماء والهواء فيتعتمد على ارتفاع وضغط منظومة التوزيع وتعتبر هذه الأبراج قليلة الكلفة لقلّة عناصرها المكونة .

يستخدم هذا النوع من الأبراج عندما يتطلب كلفة قليلة لكن درجة حرارة العمل تكون حرجة للنظام لكون سرعة الهواء المارة بالبرج تتأثر بتغير سرعة واتجاه الرياح الخارجية ... وسعة هذه الأنواع من الأبراج محدودة ولذلك فإنها تستعمل في محطات الديزل .

2: البرج ذا القطع الزائد وذو السحب الطبيعي (Hyperbolic Tower):

هنا النوع يزود بممر طويل شبيه بالمدخنة (Chimney) على شكل قطع زائد في خطوط انسيابية وللبرج الزاندي فائدة غير موجودة في النوعين السابقين إذ أنه يستطيع سحب الهواء الجوي بتأثير المدخنة حيث يحصل فرق بين كثافة الهواء داخل البرج وخارجة لحت الهواء الخارجي بدخول البرج ويكون تأثير حركة الرياح قليلة ... ويستعمل هذا النوع لساعات التبريد الكبيرة ويستخدم غالباً في محطات توليد الطاقة الكهربائية وتتميز بكبر حجمها وارتفاعها . وتكون عادة بقطر 50 الى 260 قدم وارتفاع 100 إلى 150 متر .

إن من محاسن برج التبريد ذو التيار الطبيعي سهولة الأداء ... رخص التكاليف والصيانة ... ومن مساوئه أنه يتطلب مساحة كبيرة ولا بد من تواجده في مكان مرتفع لتكون سرعة الهواء أقل ولا يُنصب إلا في الأماكن المفتوحة .

ب- أبراج التبريد ذات السحب الميكانيكي Mechanical-draft cooling tower:

وهو من أكثر الأنواع استخداماً خصوصاً في مجال التبريد والعمليات الصناعية ... في هذا النوع من الأبراج يتم إجبار الهواء للدخول إلى داخل البرج باستخدام المراوح ... هذه المراوح لها موقعين :-

* تكون في جانب مدخل الهواء فيسمى البرج ذو الدفع القسري.

* أو تكون في جانب مخرج الهواء فيسمى البرج ذو الدفع المستحث.

ويكون أنواع المراوح إما مراوح طاردة مركزية أو مراوح دافعة مسيرة ... ويتم اختيار المروحة حسب :-

1: احتياجات الضغط الخارجي .

2: مستوى الصوت المسموح به .

3: القدرة المستخدمة .

إن جريان الماء يكون من الأعلى إلى الأسفل بينما الهواء قد يجري من الأسفل إلى الأعلى (انتقال حرارة متعاكس الجريان) أو بصورة أفقية (انتقال حرارة متقاطع الجريان) وقد يكون دخول الهواء إلى البرج من منطقة واحدة أو منطقتين أو أكثر من ذلك ... كذلك يمكن تقسيم أنواع الأبراج حسب طريقة التجميع .

حيث يتم تجميع أنواع معينة في مكان تصنيع بأكملها أو قد تكون تجميع البرج في مكان الاشتغال قطعة بقطعة .

* أسباب استخدام أبراج التبريد الميكانيكية:

1: تستعمل هذه الأبراج لتتلاقى التغير في الظروف الجوية .

2: لاعطاء كفاءة تبريد عالية .

3: لتقليل الفقد في جزيئات الماء المتصاعد من البرج .

4: للتوفير في مساحة الأرض المشتغلة لإقامة البرج عليها .

وتقسم إلى :

1: أبراج التبريد بتيار الهواء المدفوع Forced Draft .

ويكون بنوعين من الجريان :

1-1 أبراج التبريد بتيار الهواء المدفوع المتعاكس الجريان (Counter flow) :-

التصميم العام لهذا النوع من الأبراج الميكانيكية حيث توضع المراوح الطاردة المركزية عند قاعدة البرج ويدفع الهواء إلى الأعلى باتجاه معاكس لحركة الماء المتساقط وتمنع جزيئات الماء المتصاعدة من الخروج بواسطة مانعات (Eliminators) توضع في أعلى البرج .

ومن مميزاته :-

أ. أكثر كفاءة من الأبراج ذات السحب المستحث حيث يتحول جزء من سرعة الهواء داخل البرج الى ضغط استاتيكي ويظهر على شكل شغل مفيد .

ب. تكون الاهتزازات والضوضاء أقل حيث توضع الأجهزة الميكانيكية على أساسات صلبة .

ج. المراوح تدفع هواء جاف وتتجنب بذلك مشاكل الصدا.

ومن مشاكل هذا النوع :-

أ. يمكن ان يحدث إعادة دورانية للهواء الرطب الخارج من البرج (Recirculation) هذه الظاهرة تقلل من

الكفاءة بنسبة 20 % ... ولتقليل ذلك يمكن استعمال برج بانسياب متقاطع (Cross - Flow).

ب. إذا انخفضت درجة حرارة الهواء دون الصفر المئوي وتكون جليد على ريش المروحة فإنه من المحتمل أن يؤدي الى كسرها .

ج. ج - حجم المراوح محدودة بقطر (3 م) على الاكثر .

د. د - القدرة اللازمة لمروحة الدفع تعادل تقريباً ضعف القدرة اللازمة لمروحة السحب بتيار مستحث لنفس السعة

1-2 أبراج التبريد بتيار الهواء المدفوع المتقاطع الجريان (Cross – Flow):

التصميم العام لهذا النوع من الأبراج الميكانيكية حيث يدفع الهواء أفقياً من المراوح - مراوح دافعة Propeller وينزل الماء عليه عمودياً من الأعلى من خلال الباثقات Nozzles.

2: أبراج التبريد بالتيار الهوائي المستحث Induced Draft ويقسم إلى:-

2 - 1 برج التيار المسحوب ذو الجريان المتعكس Counter Flow والاختلاف الوحيد بين هذا النوع وبرج التبريد بالتيار المدفوع هو وضع المروحة في أعلى البرج وتقوم بسحب الهواء حيث يدخل الهواء خلال فتحات جانبية .

2 - 2 برج التيار المسحوب ذو الجريان المتقاطع (Cross Flow)

في التصميم العام لهذا النوع من الأبراج الميكانيكية أن الهواء ينساب خلال البرج أفقياً بينما يتساقط الماء من الأعلى عمودياً عليه (انسياب متقاطع Cross - Flow) وتوضع المروحة في أعلى البرج بينما يدخل الهواء خلال فتحتين جانبيتين ويتجه الهواء بعد ذلك بواسطة الموانع (Eliminators) الى الأعلى ليخرج من البرج ويتميز هذا التصميم بأنه يعطي فقد أقل في الضغط الاستاتيكي للهواء حيث ان الهواء يلاقي مقاومة أقل من تلك بالتصميم السابق ذو الانسياب المتعكس (Counter Flow) وبالتالي تكون القدرة المطلوبة لإدارة المراوح أقل . تتميز هذه الأبراج بما يلي :-

أ. أن الماء الأبرد يتلامس مع الهواء الأكثر جفافاً ويتلامس الماء الأسخن مع الهواء الأكثر رطوبة .

ب. ظاهرة إعادة سحب الهواء المطروح (Recalculation) داخل البرج نادرة الحدوث حيث أن المروحة تسحب الهواء الساخن الرطب الى الخارج .

ج. يمكن استعمال مراوح بأقطار أقل تصل إلى 8 م .

د. بصفة عامة فان أبراج السحب بتيار مستحث ذات كلفة أساسية أقل وتحتاج لحيز أقل وتستطيع التبريد على نطاق أوسع .

هـ. الكلفة الأساسية أقل بسبب الاحتياج إلى قدرات أقل للضخ وأطوال أقل لخطوط الأنابيب والطاقة المستهلكة لكل كجم واحد من الماء المبرد أقل بالنسبة لأبراج السحب بالدفع .

ومن مشاكل هذا النوع:

أ. الضغط الاستاتيكي أقل بسبب تأثير الخنق (Throttling) عند مداخل الهواء حيث يدخل الهواء بسرعة عالية وهذا يؤدي إلى احتياج هذا النوع لمحرك ذو قدرة أكبر ليدير المروحة مقارنة بالحالة في البرج ذو السحب بالدفع .

ب. سرعة الهواء تختلف من مكان لآخر داخل البرج وتكون قليلة جداً بجوار الجدران .

2-8-2 أبراج التبريد ذات الدورة المغلقة (Closed – Cooling Tower):

ويُسمى عادة برج التبريد ذي الاتصال غير المباشر (Indirect - Contact Cooling Tower) ولا يكون هناك اتصال مباشر بين الماء المطلوب تبريده والهواء ... حيث توجد دورتان للمائع (الماء) ... الأولى دورة خارجية والتي يتعرض فيها الماء إلى الهواء الخارجي ويكون بشكل شلال يسقط على أنابيب الملفات ... والثانية دورة داخلية والتي يمر خلالها المائع المراد تبريده خلال أنابيب الملفات ... عند العمل تنتقل الحرارة من مائع الدورة الداخلية خلال جدران أنابيب الملف إلى دورة الماء الخارجية ومن ثم إلى الهواء الخارجي عن طريق تبادل الحرارة والكتلة معاً ... وبذلك فإن مائع الدورة الداخلية لا يمس الهواء الخارجي.

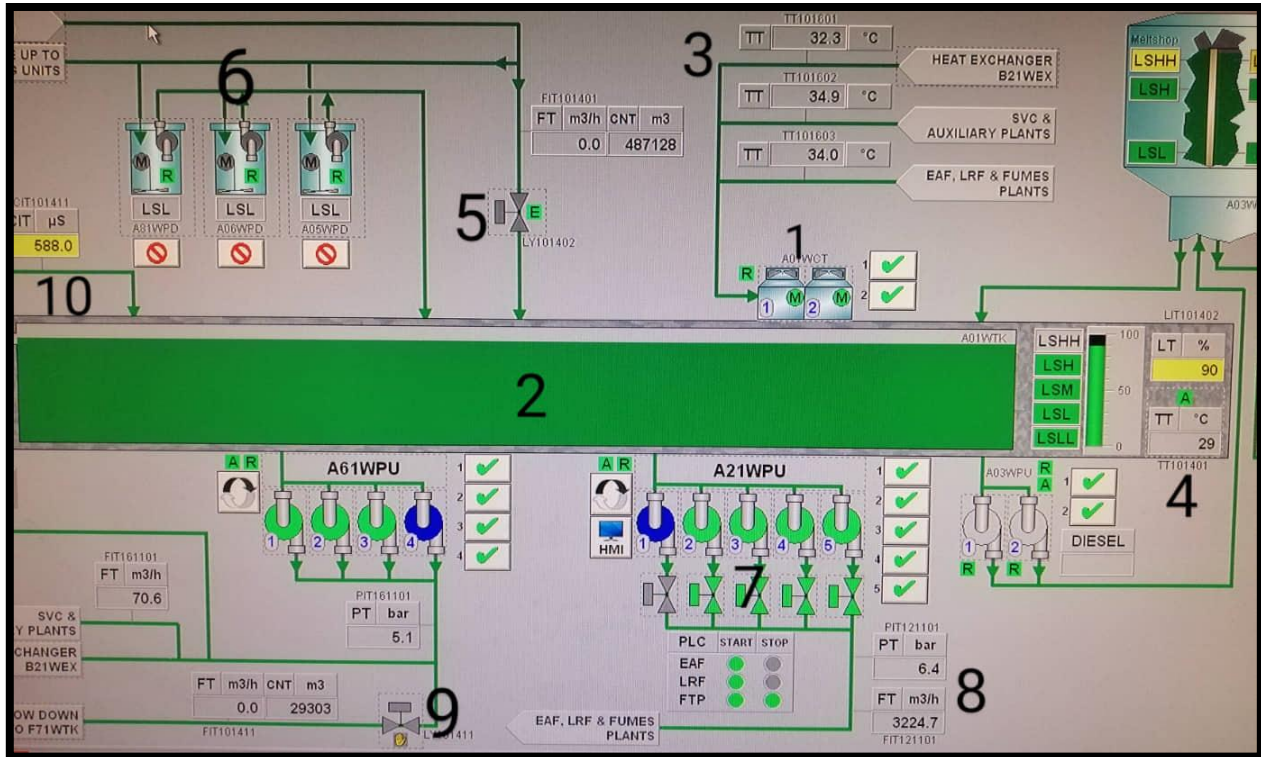
تعليق المهندس أيمن موسىليني عارف:

يمكن تصنيف أبراج التبريد تبعاً للسريان إلى ثلاثة أنواع:

1. أبراج ذات سريان متوازي ... وفيها يسري الماء والهواء في نفس الإتجاه إلى أسفل.
2. أبراج ذات سريان متعاكس ... وفيها يسري الماء إلى أسفل والهواء إلى أعلى..
3. أبراج ذات سريان متعامد ... وفيها يسري الهواء أفقياً والماء رأسياً إلى أسفل..

تعليق المهندس سامر نادر الأسدي على أبراج تبريد كما بالصورة التالية:

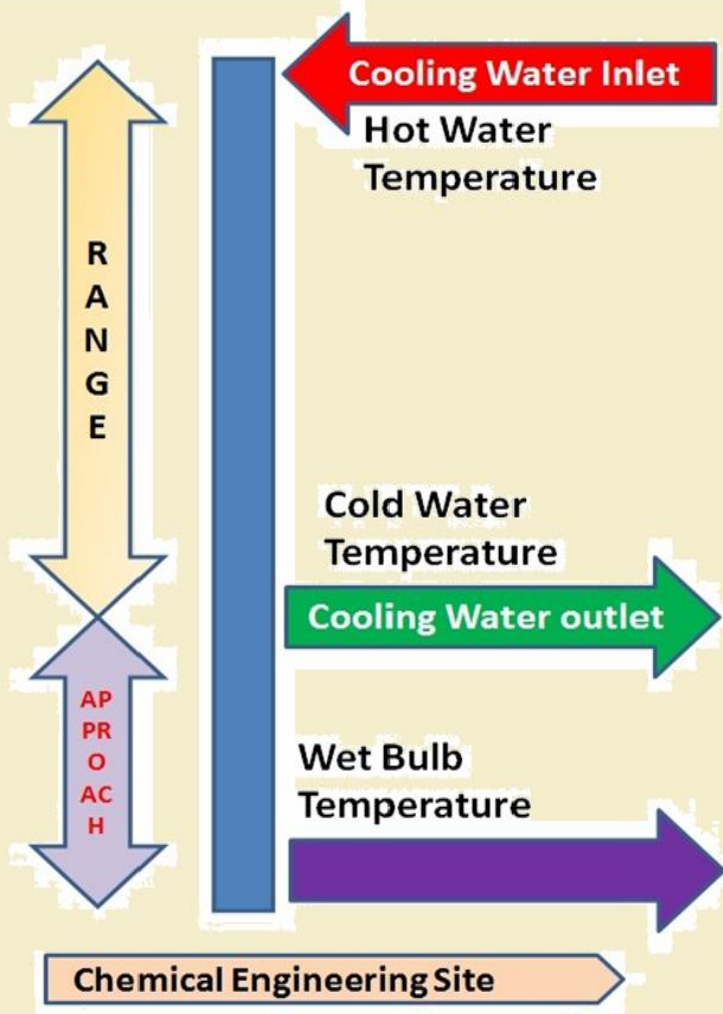
- 1- أبراج تبريد اسمنتية.
 - 2- حوض تجميع المياه بعد التبريد وحجمه 1000 متر مكعب.
 - 3- حرارة المياه القادمة من المصنع بعد أن قامت بالتبادل الحراري.
 - 4- حرارة المياه الموجود في الحوض بعد مرورها على أبراج التبريد.
 - 5- فالف تعويض المياه المفقودة خلال التبخر (مياه التعويض RO)
 - 6- مضخات حقن كيماويات ... حيث يتم حقن المواد حسب برنامج تحدده الشركة الموردة للكيماويات ويتم اجراء التحاليل بشكل يومي... والمواد المستخدمة (مانع تآكل - مانع تكلس - هيبوكلوريت الصوديوم) بالإضافة الى هيدروكسيد الصوديوم ... وإضافة البيوسايد يكون بشكل دوري.
 - 7- مضخات تقوم بضخ المياه من الحوض إلى الأجزاء المراد تبريدها.
 - 8- الضغط خلال الشبكة وتدفق المياه.
 - 9- فالف blow down.
 - 10- مقياس ناقلية أون لاين.
- ونسبة التبخر وفقد المياه 1٪ من كمية التدفق.





WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد



7

كفاءة

برج التبريد!!

النقاش السابع:-7- كفاءة برج التبريد!

ذكرنا من قبل أن تبريد المياه يعتمد على أمرين ... الأول هو تبخر جزء من المياه ... والثاني ... بمجرد تلامس المياه مع الهواء يحدث انتقال حراري.

في هذا النقاش سوف تعرف كيف تحسب كفاءة برج التبريد ...

يتم قياس أداء وكفاءة برج التبريد Cooling tower performance من خلال حساب ما يُسمى بالمدى Range والإقتراب Approach ... تابع التعليقات والمناقشات المثيرة وفخ الSite conditions!!!

1- المدى Range:

وهو الاختلاف بين درجة حرارة المياه الداخلة entering temperature للبرج والخارجة منه leaving temperature (بالتدريج المنوي):

$$\text{Range } ^\circ\text{C} = \text{CW inlet temperature} - \text{CW outlet temperature}$$

وبالتأكيد فإن درجة الحرارة التي تدخل البرج أكبر من درجة الحرارة التي تخرج منه.

هي بتعبير آخر دلتا تي Delta T ... وكلما زادت قيمتها دل على أن كفاءة البرج أفضل لأنها تخفض درجة حرارة المياه بصورة أكبر ... والعكس صحيح.

وغالبا الدلتا تي تكون من 6 – 10

ولو كان هناك حمل حراري 70 مثلاً يجب أن ينزل إلى 60 ففي هذه الحالة من الأفضل أن يتم عمل برج تبريد مع شيلر.

2- الإقتراب Approach:

وهو الفرق بين درجة حرارة الماء الخارجة من برج التبريد ونطلق عليها "CW outlet temperature" ودرجة حرارة الambient wet-bulb أو wet bulb temperature واختصاراً نقول WBT وهي ببساطة درجة حرارة كوب من الماء موضوع بجانب البرج ومعرض للهواء الجوي لفترة ... يعني ببساطة يمثل درجة حرارة الماء في الوسط الهوائي الطبيعي المحيط بالبرج:

$$\text{Approach } ^\circ\text{C} = \text{CW outlet temperature} - \text{wet bulb temperature}$$

وبالتبع كلما "اقتربت" درجة حرارة الماء الخارجة من البرج من الوسط المحيط دل ذلك على كفاءة أكبر لبرج التبريد في تبريد المياه ليصل إلى كفاءة 100% ... والحقيقة أنه عملياً لا يُمكن الوصول إلى 100%.

وتجارياً يوجد قيم "للإقتراب" نسميها Commercial standard approach وهي:

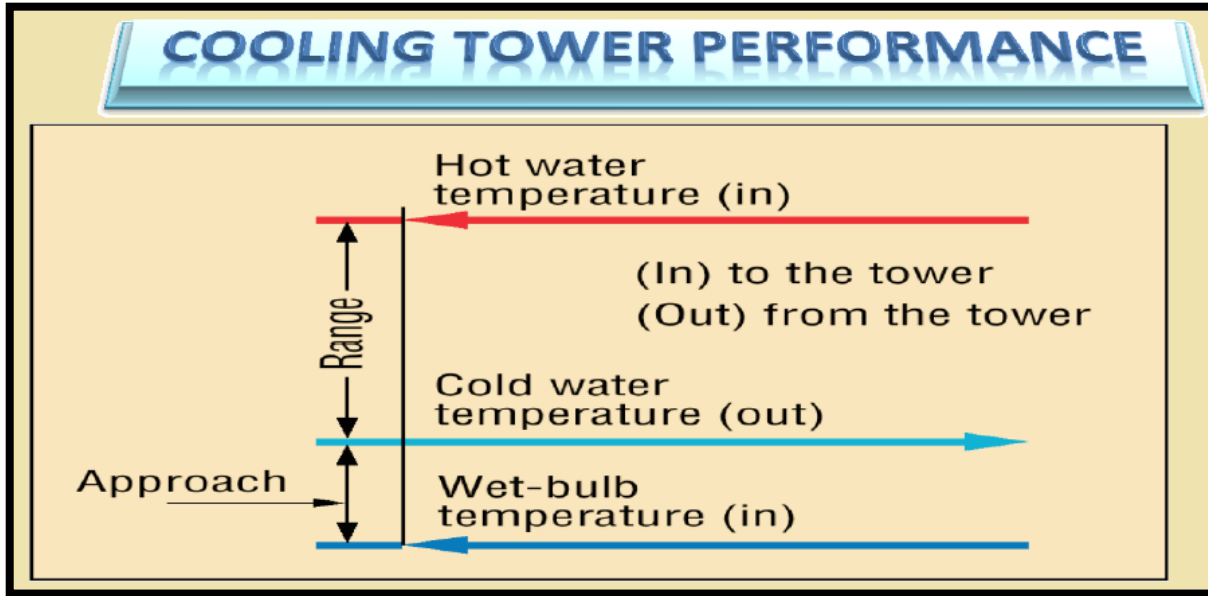
5 درجات فهرنهايت (حوالي 2.8 درجة مئوية) – 10 درجات فهرنهايت – 15 درجات فهرنهايت ... ولو طلب العميل ديزاين خاص special design مثلاً أن يكون الapproach 2 درجة فهرنهايت فإن ثمن تكلفة العمولة يزيد لأننا سنحتاج لتكبير حجم البرج مثلاً أو زيادة كفاءته بأي وسيلة ممكنة.

وبعد حساب الrange والapproach نستطيع حساب فاعلية برج التبريد من المعادلة الظرفية:

Cooling tower effectiveness% =

$$= [\text{Range} / (\text{range} + \text{approach})] \times 100$$

$$= \text{CW inlet temperature} - \text{wet bulb temperature}$$



باقي لنا أن نستدعي مثال لحساب كفاءة برج التبريد لتوضيح ما سبق:

Cold water temperature = 35°C

Hot water temperature = 42°C

Wet bulb temperature = 25°C

الحل:

$$\text{Range} = 42 - 35 = 7^\circ\text{C}$$

$$\text{Approach} = 35 - 25 = 10^\circ\text{C}$$

$$\text{Cooling tower efficiency} = 7 / (7+10) \times 100 = 41.17\%$$

المهندس شعيب محمود شعبان يتحدث عن كفاءة برج التبريد:

من الواضح أن فعالية برج التبريد تتوقف لدرجة كبيرة على درجة الحرارة الرطبة للهواء عند الدخول إلى البرج مقاسه بالترموتر المبتل ... فكلما كانت درجة حرارة الهواء بالترموتر المبتل عند الدخول منخفضة زادت فعالية البرج . يسمى الفرق بين درجة حرارة الماء الداخل للبرج والخارج منه مدى التبريد cooling range. وللاحتفاظ بالتوازن في مجموعة المكثف يجب أن يكون مدى التبريد في البرج مساوياً للارتفاع في درجة حرارة الماء في المكثف ... فيما عدا حالة استخدام ممر جانبي للمكثف يعمل على منع كمية من الماء المار على البرج من المرور على المكثف ويسمى

الفرق بين درجة حرارة الماء الخارج من البرج ودرجة حرارة البصلة الرطبة للهواء عند الدخول بالاقتراب approach إن معدل انتقال الحرارة خلال البرج يعتمد على درجة حرارة البصلة الرطبة للهواء الداخل . وكفاءة البرج تقل وتزيد خلال العام ... فلو كان الجو بارداً معني ذلك أنني سأحتاج لطاقة أقل في التبريد تتمثل مثلاً في سرعة أقل للمراوح ... وأحياناً يمكن اطفائها ليلاً مع الجو البارد ... وهكذا ... تبعاً لرؤية المُشغل في وحدته. في الشتاء نجد أن عامل الانتقال الحراري كبير بسبب انخفاض درجة حرارة الهواء الجوي والذي يلامس المياه في حين أن عامل التبخير يكون أقل ... والصيف تنعكس الحالة ... درجة حرارة الهواء مرتفعة فيزيد عامل التبخير مقارنة بالانتقال الحراري وهكذا.

ولذا يكون الـ make-up في المعتاد أقل في الشتاء عن الصيف لأن التبخير يكون أقل!!
ما رأيكم؟؟؟

رد المهندس أيمن موسيليني عارف:

البخر أحياناً يقل في الصيف بسبب ارتفاع الرطوبة في الجو خاصة في المناطق الساحلية وارتفاع الرطوبة يؤثر على الدلتا تي للبرج وقد نضطر إلى إعادته ضبط الزوايا للمراوح لأقصى درجة لسحب كمية هواء أكبر ... ومن ثم وجود ارتفاع للرطوبة يقل معدل البخر ويقلل كفاءة التبريد.

المُحاضر:

يعني لو تركنا الظروف ثابتة يقل الـ make-up في الصيف عن الشتاء لأن البخر أقل في المناطق ذات الرطوبة العالية؟

رد المهندس أيمن موسيليني عارف:

لو الرطوبة عالية ... نعم يقل البخر وأنا ألاحظه من معدلات الـ make-up. وهناك ملاحظة ... عند ارتفاع الرطوبة في الجو يظهر تأثيرها على أمبير مواتير المراوح حيث ينخفض الأمبير بصورة ملحوظة جداً وقد نضطر إلى زيادة الـ circulation بمعدل أكثر من الديزاين ويكون ذلك على حساب زيادة الأمبير وقد نضطر أحياناً أن نجعله قريباً جداً من الـ over Load للأمبير ... أو نضطر لخفض أحمال المصنع...

السعة التبريدية Cooling capacity:

مفهوم آخر هو "سعة التبريد" أو السعة التبريدية Cooling capacity أو الـ TR وهو تعبير عن كمية الحرارة التي تم نبذها أو طرحها Rejected لخفض درجة حرارة المياه في النظام درجة واحدة مئوية ومصدرها الطاقة الكهربائية أو مولدات الديزل ... إلخ ... ووحدتها كيلو كالوري/ساعة... وتُحسب كالتالي:

Cooling capacity (TR) (rejected) =

$$= \text{Mass flow rate} \times \text{specific heat} \times \Delta \text{Temp.}$$

حيث أن معدل سريان الكتلة المائية (mass flow rate) هي كمية المياه التي تمر على المبادل الحراري ... والحرارة النوعية specific heat للمياه وتساوي 4.18 جول! وهي كمية الطاقة اللازمة لرفع أو خفض درجة حرارة واحد كيلوجرام من المياه درجة واحدة مئوية ووحدتها كيلو كالوري لكل ساعة kCal/hr.

$$\text{Efficiency of cooling tower} \equiv \text{Cooling capacity of cooling tower}$$

والسعة التبريدية هي عكس السعة الحرارية heat capacity وهي كمية الطاقة اللازمة لرفع (وليس خفض) درجة الحرارة الكتلة كلها درجة واحدة مئوية.

(أما الحرارة النوعية فهي الطاقة اللازمة لتقليل واحد كيلوجرام درجة واحدة مئوية).

وبناءً على حساب ال rejected وفرق درجة الحرارة (مثلاً 30 إلى 20) يتم تصميم الطلمبة التي تضخ المياه لبرج التبريد وتحقق ال flow rate المطلوب وهذا أهم من حجم البرج.

تعليقات المهندس أيمن موسىليني عارف:

الحمل الحراري لبرج التبريد:

يُحسب الحمل الحراري من المعادلة التالية:

$$Q_{ct} = m \cdot w \cdot CP \cdot (t_{in} - t_{out})$$

حيث أن:

m w تدفق الماء المراد تبريده ب kg/sec.

CP: الحرارة النوعية للماء.

T_{in}: درجة حرارة الماء الداخل للبرج.

T_{out}: درجة حرارة الماء الخارج من البرج.

وكمية الحرارة التي يفقدها الماء المطلوب تبريده يكتسبها ماء التبخير في البرج ... فإذا كانت كتلة الماء المُبخر في البرج (m) فإن الحمل الحراري للبرج أيضاً يمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$Q_{ct} = m \cdot L \cdot H$$

حيث أن:

L. H الحرارة الكامنة (Latent heat) لتبخر الماء وتساوي 550 kcal/kg.

هذا وتتم عملية التبريد داخل البرج نتيجة تبخر بعض الماء أثناء تساقطه حيث سيأخذ الحرارة اللازمة لتبخره من كتله الماء الباقية التي ستخفض درجة حرارتها ... وسيحمل الهواء المطرود إلى خارج البرج معه البخار الناتج وبالإضافة إلى ذلك فإن جزء من الحرارة المحسوسة ينتقل من الماء إلى الهواء لذا ترتفع درجة حرارة الهواء الخارج من البرج وأيضاً كمية الرطوبة ... ولذلك فإن فاعليه برج التبريد تتوقف لدرجة كبيرة على درجة الحرارة الرطبة للهواء عند الدخول للبرج مقاسه بالترمو متر المبطل فكلما كانت درجة حرارة الهواء بالترمو متر المبطل عند الدخول منخفضة زادت فاعليه البرج ...

المهندس شُعيب محمود شعبان يتحدث عن الحمل الحراري لبرج التبريد:

يحسب الحمل الحراري لبرج التبريد من إحدى المعادلتين التاليتين:

$$Q_{ct} = m \cdot w \cdot CP \cdot (t_{in} - t_{out})$$

$$Q_{ct} = m \cdot L \cdot H$$

مثال :

يتدفق الماء في برج تبريد بمعدل 2 kg/sec حيث يدخل بدرجة حرارة 36 °C ويخرج بدرجة حرارة 31 °C ... أوجد :

1- الحمل الحراري للبرج .

2- معدل تبخر الماء .

$$1- Q_{ct} = m \cdot w \cdot CP \cdot (t_{in} - t_{out}) = 2 \times 1 (36 - 31) = 10 \text{ kcal/sec}$$

$$2- M = Q_{ct} / L \cdot H = 10/550 = 0.018 \text{ kg/sec}$$

مما سبق نستنتج أن:

1- أداء البرج performance يزيد كلما زادت قيمة الـ range يعني أن درجة حرارة المياه الخارجة من البرج تقل أكثر وأكثر.

2- أداء البرج performance يزيد كلما قلت قيمة الـ approach يعني كلما اقتربت درجة حرارة المياه الخارجة من البرج من حرارة الوسط وبالتالي معناها أكبر كفاءة.

3- فاعلية البرج effectiveness إذا زادت زاد أداء البرج performance وهذا أمر بديهي.

4- كلما زاد الـ Cooling capacity أو الـ TR يعني كمية الحرارة التي يتم طرحها أو نبذها من المياه المُراد تبريدها كلما دل ذلك على كفاءة البرج في التبريد.

Performance	Range	Approach	Effectiveness	Capacity
good	↑	↓	↑	↑
↑ = Increasing , ↓ = Decreasing				

في الصورة التالية ... برجين نريد أن نعرف أيهما أكبر كفاءة:

T1 = 20°C	T1 = 22°C
T2 = 30°C	T2 = 38°C
Wet Pulp = 17°C	Wet Pulp = 20°C
Efficiency = ??	Efficiency = ??

من المعادلة:

$$\text{Range } ^\circ\text{C} = \text{CW inlet temperature} - \text{CW outlet temperature}$$

$$\text{Range of tower "1"} = 30 - 20 = 10$$

$$\text{Range of tower "2"} = 38 - 22 = 16$$

$$\text{Approach } ^\circ\text{C} = \text{CW outlet temperature} - \text{wet bulb temperature}$$

$$\text{Approach of tower "1"} = 20 - 17 = 3$$

$$\text{Approach of tower "2"} = 22 - 20 = 2$$

$$\text{Cooling tower effectiveness\%} = [\text{Range} / (\text{range} + \text{approach})] \times 100$$

$$\text{Cooling tower "1" effectiveness\%} = [10 / (10 + 3)] \times 100 = 76.9\%$$

$$\text{Cooling tower "2" effectiveness\%} = [16 / (16 + 2)] \times 100 = 88.9\%$$

ولذلك برج التبريد الثاني الذي يهبط بالحرارة من 38 إلى 22 (على يمين الصورة هو البرج الأكثر كفاءة).

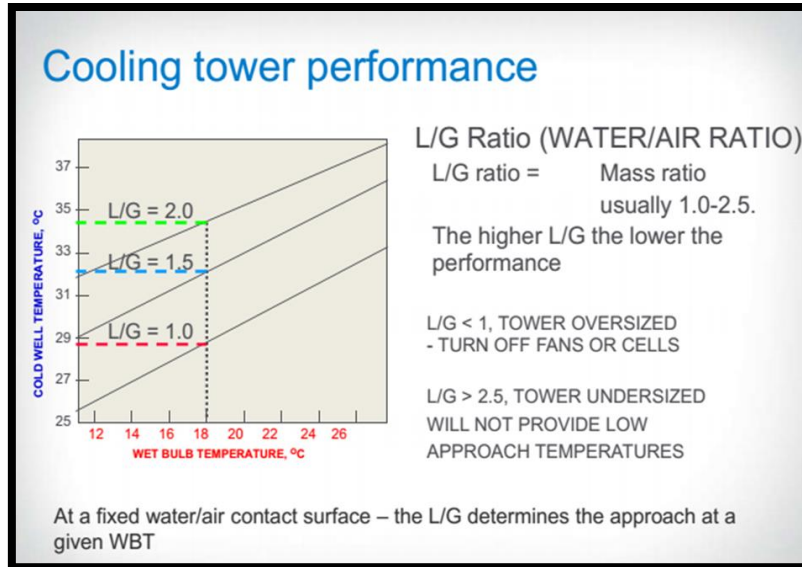
ونلاحظ:

- 1- أنه كلما قل ال approach معناه أننا لا نحتاج لحجم أكبر من البرج وبالتالي تنخفض التكاليف.
- 2- أمر آخر هو أن كفاءة البرج تزيد في الصيف نظراً لأن ال WBT تكون مرتفعة وال Approach سهل تحقيقه ... وفي هذه الحالة ممكن تزويد ال water load الداخل إلى البرج.
- 3- بالطبع كفاءة البرج تقل مع الزمن وسنوات التشغيل خاصة لو كانت الصيانة غير جيدة.

ونضيف أمور هامة في كفاءة البرج:

كفاءة البرج تتأثر بنسبة تدفق المياه إلى الهواء (نسبة السائل إلى الغاز) أو ما نسميه Liquid to gas (L/G) وكلما زاد حجم المياه المتدفقة مع ثبوت تدفق الهواء قلت كفاءة البرج ... كما يجب أن نضع في الاعتبار أن هذه النسبة تتغير مع التغيرات الموسمية في الطقس.

لننظر الآن إلى الصورة القادمة ثم نناقشها:



تتراوح النسبة المطلوبة من السائل إلى الغاز ما بين 1 – 2.5 ... وكلما زادت قيمة الـ (L/G) قلت كفاءة البرج لأن المياه تصبح أكبر من قدرة الهواء على تبريدها بالشكل الكافي والمطلوب والعكس صحيح.

لو كانت النسبة أقل من 1 ... معنى ذلك أن كفاءة البرج أكبر من المطلوب وحجمه أكبر من المطلوب (oversized) ... وبالتالي نقل في سرعة المراوح مثلاً أو نوقفها تماماً أو نقل عدد الخلايا ... إلخ

ولو كانت النسبة أكبر من 2.5 ... معنى ذلك أن كفاءة البرج ليست جيدة وحجمه أقل من المطلوب (undersized) وبالتالي يجب رفع كفاءة البرج بأى طريقة مناسبة كزيادة سرعة المراوح مثلاً.

نظام الحشو من حيث التركيب يؤثر على المساحة السطحية لقطرات المياه كما يؤثر على طبيعة جريان الهواء داخل الحشو ... وبالتالي يؤثر على كفاءة البرج في التبريد.

ارتفاع سمك الحشو أيضاً يؤثر على أداء البرج في التبريد نظراً للتحكم في طول المدة الزمنية لتعرض المياه للهواء على سطح الحشو.

درجة الحرارة للمياه الداخلة إلى البرج تؤثر في كفاءته (وقد أثبتت إحدى البحوث أن كفاءة التبريد تقل في حدود 11% مع زيادة درجة الحرارة للمياه ثلاث درجات (مثلاً من 45 – 48 درجة مئوية) مع ثبات العوامل الأخرى).

معدل تدفق الهواء يؤثر على كفاءة البرج في التبريد ... ونتحكم فيه بقوة وسرعة المراوح مثلاً أو بضبط زوايا الميل لريش المروحة (*blade angle*) وحوافها *tips*.

تعليقات المهندس شُعيب محمود شعبان:

تتوقف كفاءة برج التبريد على ما يلي:

- 1- درجة الحرارة الرطبة للهواء عند دخوله في البرج.
- 2- مساحة سطح المياه المعرضة للهواء وفترة تعرضها.
- 3- سرعة سريان الهواء خلال البرج.

4- إتجاه سريان الهواء بالنسبة المتساوقة (متوازي ، متعاكس أو متعامد) .

علاقة المسافة بين برج التبريد والمبادل الحراري وكفاءة برج التبريد:

ينبغي أن تكون المسافة بين برج التبريد والمبادل في المصنع أقرب ما يمكن ... وهذا كي نضمن سرعة تبريد المياه وبالتالي سرعة التبادل الحراري في المبادل ... وقد أوصى المصممون بأن يكون حجم المواسير (pipes) التي تصل ما بين المبادل والبرج ذهاباً وإياباً لا يزيد عن 30% من حجم المياه الكلي في نظام التبريد ... ولذا كان ذلك مشكلة في المصانع التي تضطر أن تبعد البرج لعدم وجود مساحات ... فتتغلب على ذلك بالتسريع من معدل السريان ... ولكن يظل ذلك عيباً لأنه حتى التسريع من سريان المياه داخل البرج يسبب مشاكل أخرى في كفاءة التبريد وغيره.

تعليق المهندس أيمن موسىليني عارف:

وهناك شئ آخر مهم ... وهو توزيع معدلات السريان على المبادلات الحرارية لا سيما وإن كان يوجد أكثر من مبادل بالمصنع ... على سبيل المثال مصانع الأسمدة يوجد بها أكثر من 30 مبادل بأحجام مختلفة وأيضاً في أماكن مرتفعة وأماكن منخفضة ودخول المياه على جميع المبادلات على التوازي لذا يجب ضبط معدل السريان لكل مبادل على حده وذلك عن طريق جهاز يقيس ال flow للدخول والتحكم من البلوف اليدوية في الدخول للمبادلات لأن أي خلل في توزيع المياه قد يتسبب في حدوث ترسيب داخل المبادلات رغم عدم ميل المياه للترسيب وفي وجود برنامج معالجة محكم.

فخ ال Site conditions!

يجب قبل انشاء البرج معرفة ال site conditions على مدار العام أو عدة أعوام ... نشترها من الأرصاد أو من Google ... أو بالقياسات على مدار العام أو من أي جهة معتمدة ... ويحتوي على معلومات كالأمطار والرياح وسرعتها واتجاهها أو حدوث زلازل أو ... أو ... وأهم البارامترات هو ال Highest temperature وال wet and dry bulb temperature ... وأيضاً معرفة وجود مصانع في المنطقة تسبب أتربة أو وجود عواصف رملية.

و تصميم البرج يعتمد على هذه المعلومات فهو إما ينجح أو يفشل في تحقيق المراد منه في التبريد ... ونفس الشيء يتم مع أي معدة كالأفران وغيرها ويتم كتابته مع العقد بين العميل والمنفذ (أو المقاول) كشرط من الشروط ... فإذا لم تكن المعلومات دقيقة فإن التصميم سيكون خاطئاً ولن يحقق البرج الكفاءة والوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة وقد يدخل فيها قضايا أو تحكيم بين الطرفين خاصة أن المورد أخذ معلومات مغلوبة ... وبعض العملاء يكتبون في العقد عبارة (هذه هي ال site conditions المتاحة وعلى المورد (المقاول) "التأكد من هذه القيم") حتى لو حدثت مشاكل بعد ذلك فإن المورد سيتحمل تكاليف التعديل في البرج.

لو مثلاً كان المطلوب انزال الحرارة من 45 إلى 32 ووجدنا البرج ينزل درجة الحرارة إلى 35 درجة مئوية فقط ... فإننا نزود ال approach بتعديل الديزاين مثل سرعة المراوح أو نزود مواد الحشو Filling materials ... أو نكبر مساحة البرج التي تزيد من مساحة سطح التلامس بين المياه والهواء وهو ما نعبر عنه ب L/G ratio وهو وزن السائل إلى الغاز (الهواء) ... أو نغير البرج بالكلية ... كل هذه الخيارات توضع أمام الرجل المصمم البرج والذي يجب أن يكون على دراية بهذه الأمور وليس بناء برج تبريد والسلام!

تعقيب المهندس حمدي السيد محمد:

يُمكن إضافة أيضاً موقع البرج من المعدات الأخرى مثل الغلايات أو الأفران أو المحارق والعدم الخارج منها والذي قد يؤثر على كفاءة البرج بالإضافة إلى كفاءة المعالجة لمياه البرج.

تعقيب المهندس عماد حمدي الملاح:

بالتأكيد يتم عمل حساب المفاجآت في معلومات الأرصاد بزيادة نسبة معينة من هذه المعلومات.

تعقيب المُحاضر:

بالتأكيد ... ولكن محاولة الوصول إلى أنسب ديزاين بمعلومات أكثر مطلوب.... أما تقلب الطقس الغير متوقع فهذا خارج عن السيطرة ولا بد للمشغل توقع ذلك في أي لحظة وتعديل ظروف التشغيل ... ولا شك أنها ترجع لخبرة العاملين.

حجم برج التبريد وهو ما يهم "الديزاينر" يتناسب:

- 1- طردياً مع الحمل الحراري Heat load.
- 2- طردياً مع ال Range.
- 3- عكسياً مع ال Approach.
- 4- عكسياً مع ال WBT التي شرحناها منذ قليل.

ديزاين البرج في العموم يشمل عدة معلومات:

Capacity	السعة الكلية
Operating capacity	السعة التشغيلية
Recirculation rate	معدل التدوير
Hot water temperature	درجة حرارة الماء الساخن
Cold water temperature	درجة حرارة الماء البارد
Delta Temp	دلتا T
Load MM BTU/hr	الحمل الحراري
Average load%	متوسط الحمل%
Metallurgy	المعادن المستخدمة (المبادل الحراري والخطوط)

وهذا مثال لبرج تبريد:

Capacity (gallons)	100.000
Operating capacity (gallons)	75000
Recirculation rate (gpm)	30.000
Hot water temperature °C	43.3
Cold water temperature °C	33.3
Delta Temp °C	10
Load MM BTU/hr	150
Average load%	50
Metallurgy	(Copper/nickel condenser – mild steel piping)

المهندس عباس ظاهر صلاح:

هناك موضوع مهم جداً وهو كيفية ترشيد استهلاك الكهرباء والمياه في أبراج التبريد وخصوصاً بعد زياده أسعار الكهرباء والمياه ... أولاً تركيب مُغير السرعة variable frequency drivers على محركات المراوح الخاصة بأبراج التبريد وتشغيلها على حسب درجة الحرارة وخصوصاً خلال فصل الشتاء والربيع تكون درجة الحرارة منخفضة ... ويمكن بذلك تقليل سرعة المراوح والاستفادة من حرارة الجو وتوفير الطاقة وأيضاً تقليل مياه الرش تلقائياً عندما تنخفض درجة الحرارة

رد المهندس أيمن موسيليني عارف:

أما موضوع تركيب variable frequency drive (VFD) طبعاً ممتاز ومن المؤكد أنه سيكون له فوائد توفير للطاقة وأظن أن هذا الموضوع سيكون له مساحة واسعة في نقاشات قادمة.

وعن خطوات تشغيل برج التبريد يتحدث المهندس أيمن موسيليني عارف:

خطوات تشغيل برج التبريد:

ينقسم إلى مرحلتين:

1- مرحلة التشغيل الأولية (مرحلة start up).

2- مرحلة التشغيل الثانوية بسبب توقف اضطراري (trip).

أولاً.. مرحلة start up:

1- عمل فلاشنج لكامل الدائرة وأرجو التركيز في تلك الخطوات ...

معلوم أن المواسير سيكون بها كمية شوائب و"رايش" من الحديد من آثار اللحام وداخل المواسير بقايا من أسلاك اللحام وأكياس وربما شحوم ... إلخ لذلك لابد من التخلص من كل تلك المخلفات في الخطوط ... وطبعاً شركة المعالجة سترشح لك مائه قلووية تُضاف إلى المياه لازابة المواد العضوية داخل المواسير وهذا سيكون فيه تفصيل لاحقاً ... وقد

يبلغ قطر خطوط الدائرة 72 بوصة إذ تحتاج مجهود ووقت لتنظيفها وقبل البدء في هذه الخطوة لابد أن يتم عزل كل البلوف على الراجع وذلك لعدم إدخال المياه بكل تلك الملوثات على الباكينج (الحشو) فتحدث مشاكل؟؟
فما الحل؟

الحل أنك تقوم بعمل خط مؤقت بحيث مياه الراجع تدخل على أحواض المياه وبهذا سوف تحمي الحشو ... وهذا الخط يكون عليه بلف يدوي تتحكم منه في معدل السريان للمياه الراجعة للبرج ...

وأيضاً يتم عمل "باي باص" bypass على جميع المبادلات الحرارية داخل المصنع أيضاً لحمايتها من دخول أي مخلفات فيها أثناء فترة الفلاشينج بعد ذلك يتم ملئ أحواض سحب الطلمبات وبعد ذلك يتم تشغيل طلمبة side stream filtration لملئ الدائرة ... ثم يتم تشغيل الطلمبة الرئيسية وضبط معدل السريان كضغط وسريان وأمبير للطلمبة وإيقاف طلمبة side stream filtration وبهذا فستبدأ خطوة الفلاشينج ... وستقوم بالآتي ... ستفتح درين البرج على الصرف وطبعاً ستكون المياه مُحملة بكل الملوثات التي كانت بداخل الدائرة وطبعاً لازم تعمل تعويض (make-up) يساوي الكمية المفقودة في الدرين ... وتستمر على هذا الوضع حتى تكون المياه داخل البرج تساوي مياه التعويض من حيث العكارة ونسبة الحديد ... وعندما يتحقق ذلك نستطيع أن نقول مبروك ... أنت بهذا أنهيت أصعب خطوة وهي الفلاشينج!

الخطوة الثانية:

مطلوب أنك تدخل المبادلات الخاصة بالمصنع معك في الدائرة وأيضاً يتم فتح بلوف الراجع ليدخل على الحشو وبعد عمل circulation ... سترتفع العكارة قليلاً تبدأ تتدخل الفلاتر الرملية معاك التشغيل بمعدل سريان 5% من قيمة circulation.

الخطوة الثالثة:

تأتى دور شركة المعالجة لتنفيذ برنامج المعالجة الذي يناسب طبيعة المياه وسأترك هذا في موضعه في نقاشات قادمة إن شاء الله.

بالنسبة للفلاتر ... فيه فلاتر خاصة للبرج وهذه من المفترض تقوم بفلتر 5% من قيمة ال circulation للبرج ... كي تحافظ على العكارة داخل البرج لأن العكارة داخل البرج ستكون بسبب الهواء المسحوب وأيضاً من مياه التعويض بسبب عدد دورات التركيز ... بالإضافة إلى مياه التعويض طبعاً يكون معمول ها ترويق ثم فلتر إن كان مصدر المياه من النيل.

ولكن السؤال ... ما هي العوامل التي يتم من خلالها اختيار برج التبريد؟

فنقول ...

- 1- سعة برج التبريد المطلوبة.
- 2- درجة الحرارة بالترمو متر المبتل للتصميم.
- 3- درجة حرارة الماء المطلوبة عند الخروج من برج التبريد وتحدد سعة برج التبريد.

المهندس أيمن موسيليني يأتي بتساؤل:

في ملاحظة للنقاش ... عندي برج فيه 6مراوح ... زوايا الميل واحدة لكل المراوح ولا توجد أي مشكله في المواتير ... ولا vibration ... الملاحظ أن فيه تفاوت كبير في أمبير المواتير يتراوح من 200 إلى 240 أمبير ماهي الأسباب المتوقعة؟؟

رد المهندس حمدي حسن:

زوايا الميل ليست العامل الوحيد الذي على أساسها يحدد الأمبير المسحوب ... من الممكن تراجع كمية الهواء الخارج من كل مروحة وأيضاً حالة الرومان بلى للمواتير وحالة الجيربوكس الخاص بكل مروحة ... وأيضاً توصيات الشركة الموردة لأوقات التشحيم سواء كان على المواتير أو الجير بوكس وأيضاً مراجعة أوقات تغير الرومان بلى للمواتير والجير بوكس وهل تم تغيير أي جزء بآخر جديد في الفترة الماضية؟؟

المهندس أيمن موسيليني عارف:

بالإضافة إلى ما ذكرت ... يوجد عامل مهم وهو توزيع المياه على الخلايا ... في حالة زيادة المياه على الخلية ينخفض الأمبير نتيجة انخفاض الهواء المسحوب والعكس في حالة خفض المياه على الخلية يرتفع الأمبير نتيجة زياده الهواء المسحوب ... وأيضاً لو فيه فراغات في الخشب (سقف البرج) يؤدي إلى سحب الهواء من المسار الأسهل ... ومشكلة الفراغات تكون نتيجة تمدد الخشب ... ومن ثم يؤدي إلى زيادة الأمبير وقد يؤثر على كفاءة التبريد ... ولو فيه فراغات أيضاً من الحاجز الخشب بين الخليتين وهذا يجعل فيه تغير مستمر في أمبير مراوح الخليتين الملاصقتين لبعضهما نتيجة تلك الفراغات ... ولذلك يجب إصلاح الفراغات بين ألواح الخشب من وقت لآخر...

المهندس محمد جابر محمد جاهين:

من الممكن لدرجة الحرارة - كمية البخار- تؤثر على الأمبير من حيث الأحمال - جودة مكونات جسم البرج من فتحات وتكسير مثل ترك باب البرج مفتوح مثلاً ... كل هذه مؤثرات؟؟

رد المهندس أيمن موسيليني عارف:

لو نسبة الرطوبة في الجو مرتفعة تؤثر على كفاءة التبريد وتتسبب في انخفاض الأمبير وسيفل الهواء المسحوب ... وطبعاً لو هناك مشكلة في الخشب أو باب دخول الخلية لو ترك مفتوحاً أو غيره سيرفع الأمبير ويقلل التبريد لأن الهواء يجد طريق bypass على الحشو.

المهندس شعيب محمود شعبان يتحدث عن سعة برج التبريد:

سعة برج التبريد cooling tower capacity:

سعة أي برج معناها كمية الحرارة التي يطردها سائل التبريد أو التي ينبغي أن يطردها سائل التبريد ... وكمية الحرارة التي ينبغي أن يطردها سائل التبريد هي كمية الحرارة التي يمتصها المبخر + كمية الحرارة الناتجة عن شغل الضاغط. ويلاحظ أن درجة الحرارة النهائية للماء عند حوض برج التبريد تتوقف على ارتفاع هذا البرج بفرض أن سرعة الرياح ثابتة ... كما أن الماء الخارج من المكثف يبرد عادة إلى درجة تقترب من درجة الحرارة المبتلة للهواء الداخل للبرج ولكنها لا تصل إلى هذه الدرجة ... وتصل هذه الدرجة عادة إلى درجة أعلى من درجة الحرارة المبتلة للهواء الخارج بقدر يتراوح من 5-10 فهرنهايت متوقفة على سعة البرج وكمية المياه وطريقة تصميم البرج. فمثلاً يمكننا أن نعطي كمية حرارة إلى كمية من الماء ويمكن أن نعطي نفس كمية الحرارة إلى كمية مضاعفة من الماء ولكن سيكون الفرق بين درجتي حرارة الدخول والخروج من الأولى ضعف الثانية ففي تلك التي تستخدم فيها كمية مياه أكبر سيكون الفرق بين درجتي الحرارة أصغر وبالتالي تكون درجة الحرارة النهائية للماء عند حوض البرج أقرب إلى درجة الحرارة المبتلة للهواء الداخل منها لو استخدمنا كمية من الماء نصف الكمية الأولى ولهذا السبب يتضح لنا لماذا نستخدم المياه ذات الكمية الكبيرة في برج التبريد.

المهندس عباس طاهر صالح:

سؤال مهم جداً عدة عملاء يطرحوا هذا السؤال:

حالياً مع حالة الاقتصاد أغلب الشركات لا تعمل طوال الوقت ... يحدث إيقاف كل حين وآخر ... وبالتالي صاحب المنشأة يحتاج يعمل توفير في الطاقة والمياه وأي شيء وخصوصاً في حالة الإيقاف المشكلة التي تواجهنا هي consumption وخصوصاً الـ cooling tower فمثلاً يوجد لدينا برج تبريد cooling tower:

System volume = 436 m³, Recalculating rate = 2100 m³

The number of operating pumps = 3 pumps, Pump = 700 m³/h

طبعاً في حالة الـ shut down يتم تشغيل طلمبة واحدة بغرض عملية التدوير ولكن وُجد استهلاك كهرباء أكثر من ٥ ألف في اليوم فكان الحل الأمثل هو عمل pressurized لخطوط البرج ... طبعاً مع متابعة وعمل analysis للمياه:

Parameters monitored operating data :Testing can include
pH - Conductivity - Suspended solids - Alkaline - Hardness - Phosphate - Other
(anti treatment component's depending on programmer - Microbiological population -
corrosion - Oxidizing biocide - Non oxidizing biocide) additions.

ولكن شركه الخاص بالـ packing أوصت بتشغيل المياه باستمرار على packing (مُصنع من الـ PVC).

سؤال متدرب:

بالنسبة لزوايا الميل لشفرات المراوح في أبراج التبريد ... ما أقصى زوايا لميل الشفرات؟ وهل بازدياد الزوايا تؤثر على كفاءة تبريد المياه؟

رد المهندس أحمد مدحت عبد المعطي:

بالطبع ... زاوية الميل تؤثر على التبريد ... وأعتقد زاوية ميل من 20 الى 22 مناسبة جداً.

رد المهندس محمد أبو القاسم خيرى:

نعم تؤثر .. لكن عليه الانتباه من التيار المسحوب من الموتور حتى لا يسبب ضرر في الموتور.

رد المهندس عمر الفاروق:

الموضوع له علاقة كبيرة جداً بتصميم البرج من البداية وحسابات سرعة الهواء وكم طن تبريد مطلوب ... فليس هناك زاوية محددة يتم تطبيقها على كل مراوح الأبراج.

رد المهندس فاضل الفار:

زاوية الميل ... بدايةً ترجع إلى تصميم البرج نفسه وبناءً عليه يتحدد احتاج كم flow ... ومنه نُحدد تصميم المروحة ... بمعنى أن زاوية الميل هو تصميم ميكانيكي للمروحة.

النقاش القادم عن النظام المائي في دائرة برج التبريد...

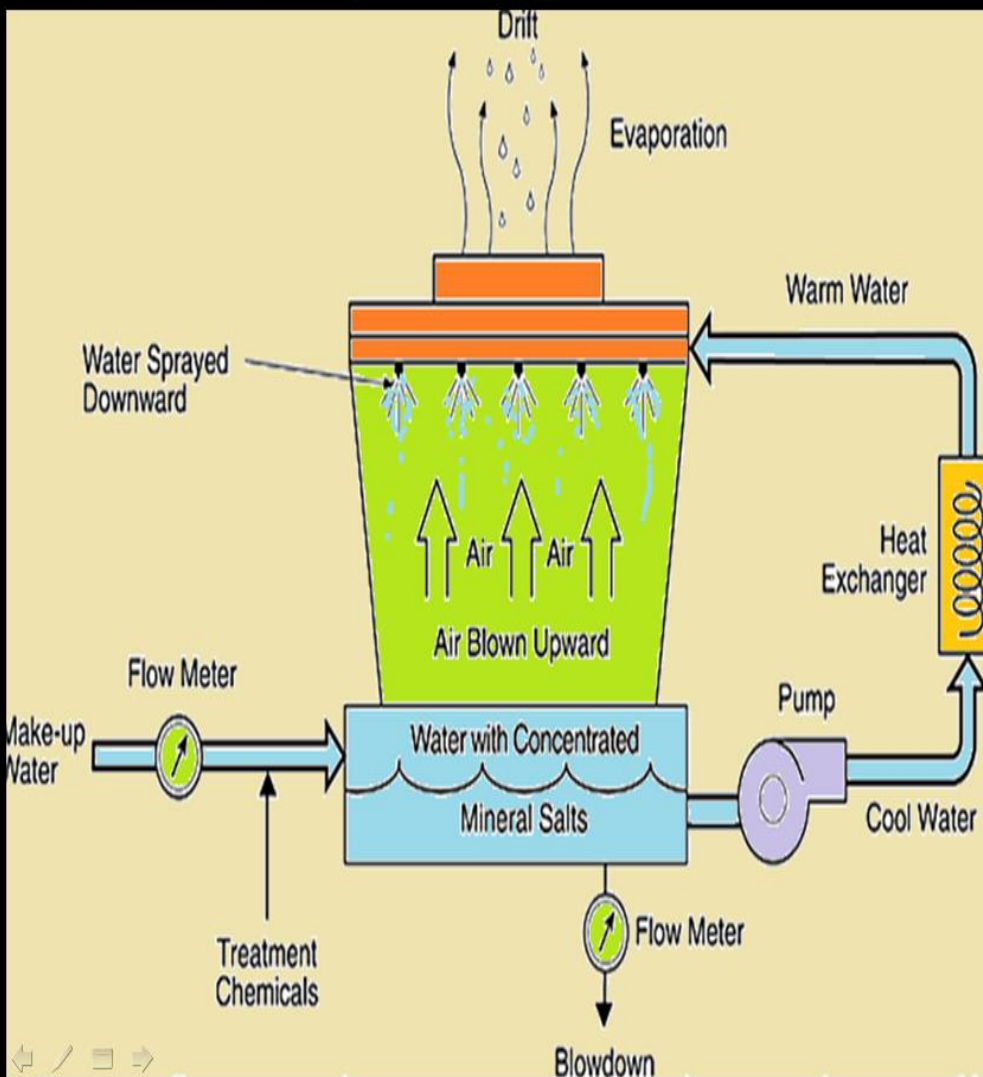


WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

8

النظام المائي في أبراج التبريد



النقاش الثامن:-**8- النظام المائي في أبراج التبريد!**

في هذا النقاش والنقاش القادم سنشاهد رحلة المياه داخل دائرة التبريد وما يحدث لها من تغيرات ... سنتحدث عن حجم المياه كيف ينقص بالتبخير وغيره وكيف يؤثر ذلك على خصائص المياه ... سنتحدث عن مياه التعويض ... ونذكر عدة معادلات ... وسنتكلم عن مفهوم "دورات التركيز" ...

ما هو معدل الدوران circulation rate؟

معدل الدوران هو كم متر مكعب من المياه تمر على نقطة معينة في الدائرة (م³/ساعة) ... وبالتالي نستنتج أننا لو اخترنا أي نقطة من دائرة التبريد سنجد معدل الدوران ثابت (إلى داخل البرج أو خارج البرج).

المهندس أيمن موسيليني عارف:

وفيه نقطة مهمة ... في حالة وجود أكثر من مبادل بأحجام مختلفة وعلى ارتفاعات مختلفة قد تصل إلى 15 متر أو أكثر ... فنقول:

كمية الـ circulation الكلية للبرج موزعة على المبادلات على حسب الـ flow المطلوب لكل مبادل في التصميم ... وطبعاً حتى نحقق لكل مبادل معدل السريان يكون ذلك من خلال التحكم في البلوف اليدوية لدخول المبادل بعد قياس الـ flow لكل مبادل على حده عند أعلى حمل للمصنع.

لماذا يقل حجم المياه في دائرة برج التبريد مع الوقت؟

فقد المياه Water loss في دائرة التبريد يرجع لعدة عوامل ... سنسردها إجمالاً ثم تفصيلاً:

- 1- التبخير Evaporation.
- 2- التفوير Blow down.
- 3- انحراف أو انجراف المياه Water drift.
- 4- التسريبات Leakage.
- 5- فقد المياه بسبب الرياح Windage.
- 6- رش المياه إلى خارج البرج Splash out.
- 7- فيضان المياه Overflow.

1- التبخير Evaporation:

برج التبريد يحدث فيه وأن يتبخر جزء من المياه الساخنة مع الهواء الصاعد عبر المدخنة للهواء الجوي ... والقاعدة تقول: كل انخفاض 10 درجات فهرنهايت للمياه في برج التبريد يحدث تبخر لحوالي 1% من منظومة المياه السارية الكلية أو الـ Circulation rate.

فمثلاً لو كانت درجة الحرارة الأولية = 90 فهرنهايت ودرجة حرارة المياه النهائية بعد التبخير وصلت إلى 80 فهرنهايت فإننا نستطيع أن نقول أننا فقدنا 1% من حجم المياه الكلية في الدائرة ... وبالتالي نستطيع حساب معدل التبخير بناءً على المعلومات السابقة ... فلو قلت درجة الحرارة مثلاً 5 درجات فهرنهايت معنى ذلك أننا فقدنا 0.5% من حجم المياه الكلية وهكذا.

وبما أننا دائماً نتعامل في الأغلب بالدرجة السيليزية (المئوية) (أى الوحدات بنظام الـ SI) فإننا يمكن تحويل الـ 10 درجات فهرنهايت لتكافئ 5.5 درجة سيليزية لأن:

$$C = (F-32)/1.8$$

لو انخفضت الحرارة من 30 إلى 20 فهرنهايت مثلاً فيتم تحويلها لدرجة سيليزية:

$$C1 = (30-32)/1.8 = -1.11$$

$$C2 = (20-32)/1.8 = -6.67$$

$$\Delta T = 10^{\circ}F = 5.6^{\circ}C$$

لذا نقول أنها انخفضت 5.6 درجة سيليزية تقريباً معنى ذلك أننا فقدنا 1% من حجم المياه الكلية في الدائرة.

وأهم العوامل التي تؤثر في معدل تبخر المياه في دائرة التبريد هي:

1- درجة حرارة الجو (تناسب طردي) ولذا كان معدل التبخير يختلف مثلاً في النهار عن الليل ... (بالوجه القبلي في مصر مثلاً قد تصل درجة الحرارة بالنهار إلى 50 درجة مئوية وقد تصل إلى أقل من 5 درجات ليلاً في الشتاء).

2- رطوبة الجو (Humidity) (تناسب عكسي) (معامل التبخير يقل لو الرطوبة عالية).

3- درجة التلامس بين الهواء والماء (تناسب طردي).

4- مساحة السطح المعرض للهواء (تناسب طردي).

ولذلك نلجأ إلى تعويض المياه المفقودة بعملية التعويض Make-up بمياه جديدة كما سنتحدث بعد ذلك.

المهندس أيمن عوني عيد:

لتحويل الفرق في درجة الحرارة من السيليزية للفهرنهايت نضرب الدرجة السيليزية مباشرة في 1.8 ... أي لتحويل فرق درجة حرارة سيليزية تساوي 10 الي فهرنهايت:

$$10 \times 1.8 = 18^{\circ}F$$

ملحوظة: يجب أن نفرق بين فرق درجات الحرارة في التحويل للفهرنهايت ودرجات الحرارة.

2- التفوير Blow down:

عملية التفوير هي التخلص من جزء من المياه في الدائرة والتي تركزت فيها الأملاح ليتم التعويض بمياه خام جديدة وذلك بغرض خفض الأملاح التي تتركز بسبب تناقص المياه في برج التبريد ... وعملية التفوير تسميها بعد المراجع أيضاً بالـ Bleed-off أو الـ Bleed-off أو إن شئت فقل purge water أو discharge water وكلها مسميات لنفس

العملية تقرؤها في المراجع العلمية ... ويتم التخلص من المياه من منطقة حوض المياه الباردة في أسفل البرج ومصير هذه المياه سوف نفرد له مناقشة أخرى خاصة بعد ذلك ... ضبط عملية التفوير من الأهمية بمكان حيث أنها تمنع تركيز المواد العالقة أيضاً بجانب الأملاح الذائبة إلى الحد الأعلى المحظور ... كما أن الإسراف في هذه العملية يؤثر على سلامة النظام المائي داخل منظومة التبريد بجانب التكاليف الإقتصادية.

وفي المعتاد ... يتم عمل تفوير مستمر للحفاظ المستمر على تركيز الأملاح ... وهذا أفضل من انتظار الأملاح حتى ترتفع قبل الحد الأعلى بقليل ثم نقوم بعمل تفوير لتخفيض الأملاح بصورة فجائية ... فالتذبذب القوي في المنظومة غير موصى به على الإطلاق.

تسير مع عملية التفوير بالتوازي عملية تعويض للماء المفقود make-up ... أو إضافة fresh water جديدة إلى المنظومة بحيث نعوض الفقد في المياه ولتخفيف الأملاح المركزة ... ويتم عمل "عوامات" أو "Sensor" للشعور بقلّة المياه عن حد معين نفتح بعدها سكة الـ make-up (بظلمة ضخ أو باستخدام الجاذبية gravity من تنك تخزين لمياه التعويض) ... ومياه التعويض ندخلها مباشرة على برج التبريد إذا كانت جودتها مطابقة لمواصفات البرج أو نقوم بعمل معالجة أولية pretreatment له قبل الدخول كما سنوضح بعد ذلك.

3- انحراف أو انجراف المياه Water drift:

قطرات مياه تخرج مع الهواء عبر المدخنة ... ومعها الكيماويات والمواد العالقة مما يسبب ضرر على البيئة المحيطة مع مرور الوقت ... كما أن يساعد على تآكل هيكل البرج من الخارج أو المعدات المحيطة أو حتى السيارات التي تقف بالقرب منه ... والشخص الذي يستنشق هذه القطرات معرض أن يُصاب بأمراض تنفسية خطيرة قد تؤدي إلى الوفاة ... ويتم تقليل نسبتها عن طريق ما يُسمى بالـ Drift eliminator كما شرحنا من قبل ... وكمية القطرات هذه تعتبر ضئيلة جداً بالنسبة للمياه التي تفقد في العمليات الأخرى.

4- التسريبات Leakage:

قد تحدث تسريبات في بعض أماكن في المنظومة كما يحدث في بعض الخطوط أو الطلمبات وعادةً ما تنتهي هذه المشكلة بعد عمل الصيانة لها ... وينبغي عمل تفتيش دوري على الخطوط.

5- فقد المياه بسبب الرياح Windage:

يحدث أحياناً فقد المياه من البرج عن طريق الرياح التي تدخل البرج وتُخرج المياه من الجوانب الأخرى لو كانت قوية (الفقد في حدود 0.01 – 0.05%).

6- رش المياه إلى خارج البرج Splash out:

هو خروج قطرات من المياه من على جانبي البرج من فتحات دخول الهواء Air intake أو الأماكن المفتوحة من الـ Tower casing ... وهذا يحدث دون تدخل عامل الرياح ... وتزيد هذه الظاهرة إذا توقفت المراوح أو قلت سرعتها عن الحد المطلوب ... وقد تحدثنا عن دور الـ Louvers في تقليلها لأدنى حد.

7- فيضان المياه Overflow:

يحدث أحياناً وأن تقف الظلمبة التي تسحب المياه في حوض المياه الباردة من البرج إلى المبادل لعطل أو لسبب آخر... فترجع المياه مرة أخرى للحوض ويمتلاً مما يحدث overflow ... يحدث ذلك أيضاً بسبب الديزاين الخاطئ كالوضع الخاطئ ماسورة ال overflow أو أن يكون مستوى ال make-up غير صحيح خاصة في النوع الذي يستخدم مروحة في منطقة دخول الهواء (forced draft counter flow) الذي تحدثنا عنه من قبل ... فيكون دخول المياه من ال make-up في مستوى عالي تجعل ضغط الهواء المتولد من المروحة يخرجها بالقوة عبر فتحة ماسورة ال overflow.

المهندس أيمن موسىليني عارف:

بالنسبة لل over flow يسبب التوقف الاضطرابي والمفاجئ ... وفي بعض الأنظمة يتم عمل خط سحب من basin إلى water supply ... ويكون راكب على الخط من خروج ال basin بلف عدم رجوع check valve يكون اتجاه فتحه ناحية ال water supply ... وفي حالة التوقف يحدث فاكيوم vacuum من basin إلى W. S ... وفائدته هي عدم حدوث فاكيوم للخط W. S ... وأيضاً خفض فقد المياه نتيجة ال over flow ... وللحفاظ على خط W. S ممتلئ حتى يمكن تشغيل pump دون الحاجة إلى عمل ملئ لل W. S مرة أخرى ... وهذا طبعاً غالباً يكون في الأنظمة الكبيرة نسبياً ... ويفضل غلق بلوف ال Return في حال التوقف المفاجئ للحفاظ على الضغط وال flow في الدائرة ويتم فتحهم تدريجياً عند إعادة التشغيل.

المهندس شعيب محمود شعبان:

هناك ثلاثة مصادر لفقد المياه خلال أبراج التبريد :

- 1- المياه المتبخرة نتيجة تبريد باقي المياه الساخنة وهي في حدود 1 % من معدل سريان المياه خلال البرج .
- 2- سحب قطرات المياه (Water drift) مع الهواء الخارج من البرج .
- 3- تصفية المياه (Water bleed - off) من قاع البرج للتحكم في نسبة تركيز الأملاح في مياه في حدود 1 % من معدل سريان المياه خلال البرج ... ويجب تعويض برج التبريد بنفس معدل المياه المفقودة ليظل مستوى المياه في حوض البرج ثابت .

ماذا لو تركنا المنظومة تفقد المياه عبر الطرق السابقة؟

بالطبع لو تركنا المنظومة تفقد الماء هكذا فإن ذلك سيتسبب في مضاعفة تركيز الأملاح في المياه وبعدها لن نجد مياه بعد فترة من الزمن!

نلاحظ هنا أن مُصمم المبادل الحراري يضع حد أقصى لل TDS لا يجب أن نتعداه ... وإلا يحدث ترسيب من الأملاح عليه ويفسد (مثلاً 1000 أو 2000 جزء في المليون حسب الديزاين).

تضاعف تركيز الأملاح يحدث 3 مشاكل رئيسية مرتبطة غالباً ببعضها وهي:

1- التآكل corrosion.

2- تكوين القشور scales.

3- نمو الطحالب والبكتيريا.

وسنتحدث عن ذلك بالتفاصيل عندما نتحدث عن المشاكل التي تُحيط بدائرة التبريد.

ملاحظات على عمليات التفوير Blow-down والتعويض Make-up:

بالنسبة لعملية التفوير فإنها تتم على الدوام بمعدل ثابت لأن التبخير أيضاً يكون بمعدل ثابت تقريباً (وبعض الحالات تتم على فترات) ... ويمكن وضع sensor على سكة ال blow-down يقيس ال TDS نسميه Conductivity sensor ويوضع معه مع بلف solenoid أو نسميه bleed valve ... إذا زادت الأملاح يفتح أوتوماتيكياً ... بالنسبة لل Conductivity sensor يجب معايرته جيداً مع صيانة دورية لأنه لو قرأ الأملاح أكبر من القيمة الحقيقية فسيتم عمل تفوير أكبر واستهلاك للمياه دون داعي ... ولو كانت قراءته أقل من الحقيقي فسيزيد تركيز الأملاح في مياه التبريد.

بالنسبة لل bleed valve يتم وضع bleed meter عليه ومعايرته لمعرفة الكمية التي تخلصنا منها في التفوير ... كما يُفضل وضع فلتر أو مصفاة strainer قبله للحفاظ عليه حيث أن المياه تحتوي على شوائب وربما تحتوي على حشرات ميتة!

المهندس أيمن موسيليني يتحدث عن التحكم اليدوي ومميزاته:

الأفضل في عملية التفوير التحكم اليدوي حيث يتم حساب نسبه التفوير حسابياً ...

$$\text{Evaporation \% volum} \times 1000$$

وعملياً يتم ضبط التفوير أيضاً بناءً على تركيز الكالسيوم والأملاح الكلية بناءً على برنامج المعالجة ومتابعة التحاليل اليومية أما وجود سينسور conductivity يحتاج معايرة ومتابعة باستمرار والخطأ وارد جداً قد يترتب عليه ارتفاع دورات التركيز ... ومن ثم ... إمكانية حدوث ترسبات وفاولينج وتآكل في الدائرة ... ولذلك يُفضل عمل تحاليل كاملة لمياه البرج كل وردية shift بالورادى والتعامل مع التفوير بناءً على التحاليل

تعقيب المهندس أيمن عوني على التفوير اليدوي:

اختلف معك ... استخدام التفوير الآلي أفضل كثيراً من اليدوي لأننا دائماً نحسب معدلات التفوير على الأملاح الكلية والتي تم حسابها بجدول الرايزنار Ryznar index.

رد المهندس أيمن موسيليني عارف:

تمام بشرط متابعة صحة القراءة.

أفضل مكان ننفذ فيه عملية التفوير:

نقطة أخرى مهمة جداً في الديزاين ... هو أن أفضل نقطة للتفوير أو التخلص من جزء من المياه هي المنطقة التي تلي المبادل الحراري أو قبل مدخل البرج tower inlet ... والسبب في ذلك أن المياه تكون عند أعلى درجة حرارتها بجانب أن أقل تركيز لمعظم الكيماويات يكون فيها ... وهي منطقة يكون فيها الضغط عالي ويسهل قياس حجمها عن الأماكن ذات الضغط المنخفض (في حوض برج التبريد مثلاً) ... أيضاً ... عمل التفوير من البرج بعد أن بردت المياه ليس فيه حنكة علمية ... فكيف تقوم بالتخلص من مياه قد أرهقت نفسك في تبريدها ... وبالتالي هي طاقة تذهب هدرًا.

The bleed take-off point should be located on the high pressure side of the system after the heat exchanger as this water is the warmest and is the most depleted of any water treatment chemicals. Taking bleed from a low pressure area may cause practical difficulties with metering this water volume. Taking bleed from the tower cold water basin reduces system capacity as the bleed water would have already been cooled by the tower. It is more efficient to take bleed from before the tower inlet.

وعلى الجانب الآخر تتم عملية التعويض Make up بمياه جديدة!

أمر هام جداً هو أن التفوير لو قمنا به فقط عند ارتفاع الأملاح من قيمة قريبة من الحد الأقصى فإن ذلك يسبب خطورة في المنظومة ... لأن التذبذب الكبير في الـ TDS يسبب مثل المطرقة للنظام knocking ... تعلق نسبة الـ LSI ثم تنخفض مع ارتفاع وانخفاض الأملاح ... لذا فإن التفوير السليم يجب أن يكون مستمر continuous وبمعدل ثابت يتمشي مع معدل التبخر الثابت أيضاً (ونلاحظ هنا أن الـ Make-up ثابت في الحالتين).
تشبه هذه الحالة الحالة التي نضع فيها الكلور للتعقيم بحيث يكون تركيز ثابت (0.5 أو 1.0 جزء في المليون مثلاً) فبدلاً من أن أشتري طلبية لضبط جرعة الكلورين أقوم بعمل shock dose (أو باتشة) من الكلور أول اليوم أو أول كل وردية فأقوم بالقاء جركن الكلور كاملاً فيرتفع الكلور إلى تركيزات عالية جداً تصل إلى 20 - 30 جزء في المليون أو أعلى من ذلك ... فلو كان عندي مبادل ستانلس ستيل فلندعوا له بالرحمة! ... ثم ينخفض الكلور جداً في النهاية قبل الجرعة التالية فتزيد البكتيريا والتي من وظائفها إفراز مواد حمضية تسبب انخفاض الـ pH فيحدث التآكل ... مرة يزيد الكلور ومرة تزيد البكتيريا وتصبح المنظومة مذبذبة بين هذا وهذا ... فأيهما أفضل؟ شراء طلبية حقن تحافظ على نسبة الكلور أم شراء مبادل حراري كل 3 - 4 سنوات بدلاً من 15 - 20 سنة؟؟
(ملحوظة مهمة ... هو أن مشاكل برج التبريد لا تظهر فجأة في المعتاد بل تظهر بعد شهور وسنوات ... لذا قد يظن المشغلون أنهم يسيرون في الاتجاه الصحيح بينما الحقيقة عكس ذلك ... وقد ضربنا المثل الخاص أنه لو لم يكن الـ blow down بمعدل مستمر وثابت فإنه يؤدي إلى خسارة في المبدل بعد سنوات قليلة).

تعقيب المهندس محمود عبد العزيز رزق:

للأسف بعض شركات مياه الشرب يعملون بنظام الباتش في إضافة الكلور ولذلك تزيد فعلاً نسبته في المياه ويتغير طعمها.

تعقيب المهندس أيمن موسيليني عارف:

طبعاً من المؤكد أنه سيكون هناك متغيرات كثيرة جداً في مواصفة المياه داخل البرج من حيث معامل التركيز وقلوية المياه وتغيير في كل القيم نتيجة التغيرات في مياه التعويض... إلخ بالصيف والشتاء وحتى علي مدار اليوم ... وتغيير أيضاً داخل البرج نتيجة زيادة ونقصان البخار لارتفاع وانخفاض الرطوبة في الجو وهكذا ... لذلك برنامج المعالجة يضع في الحسبان تلك المتغيرات للتحكم في التآكل والترسيب والنمو البكتيري ... لذا يجب الالتزام بتعليمات برنامج المعالجة .. ويجب عمل تحاليل يومية للمياه داخل البرج وأيضاً مياه التعويض والتعامل يكون من خلال التحاليل.

(ملحوظة: في الغلايات يتم استبدال التبخير بالبخار المنتج Produced steam ولفظ مياه التعويض-make-up بالتغذية Feed بعد معالجة المياه الخام raw water أولياً).

تعقيب المهندس علي جواد:

المكان الذي يتم فيه إضافة ماء التعويض في الحوض البارد ولا يؤثر على درجة البرودة لأنه يكون بنسبة قليلة.

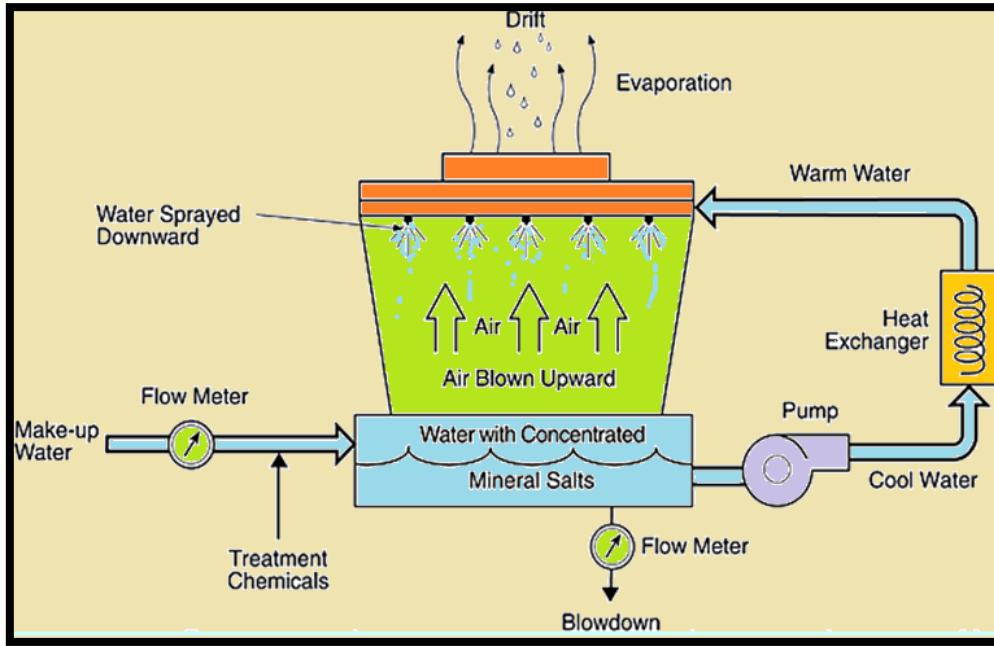
تعقيب المحاضر:

نعم صحيح.

هل نستطيع الاستفادة من البخار الناتج من أبراج التبريد وإعادة تكثيفه؟

تم عمل هذه المحاولة في أحد الشركات ولكن كانت تكاليف الطاقة المستخدمة عالية ولم يكن العائد الإقتصادي مشجعاً!

هذه صورة تراجع لنا وتلخص ما قلناه عن دائرة التبريد وبرج التبريد:



سؤال من متدرب:

كيف أحسب كمية مياه الصرف بمعلومية الضغط وقطر الماسورة ووقت فتح محبس التصريف هل هناك معادلة لذلك !!!؟

رد المهندس سعيد جمعة سعيد:

في حاله أن التصريف من خزان فقط بدون مضخات فالضغط في هذه الحالة هو الضغط الإستاتيكي فقط وهو مساوٍ لارتفاع المياه في الخزان وله معادلة كالآتي:

$$H = V^2/2g$$

حيث H هو الضغط أو ارتفاع المياه بالمتراً.

كذلك V^2 مربع السرعة في الماسورة.

و g هي عجلة الجاذبية الأرضية ثابتة.

ومن هذه المعادلة تحصل علي سرعة الماء في الماسورة.

وباستخدام سرعة الماء ومساحة مقطع الماسورة تحصل علي التصريف من المعادلة:

$$Q=AV$$

Where:

Q is the flow rate.

A is the area.

V is the fluid velocity.

استفسار السائل:

لو بالنسبة لغلايات بخار ... هل تنطبق المعادلة مع اعتبار أن H ستكون الضغط داخل الغلاية؟!

رد المهندس سعيد جمعة سعيد:

في الغلايات يكون فيه ضغط ديناميكي بسبب المضخات لابد وأن يوضع في الحساب ... وكذلك الغلاية نفسها تكون معلومة التصريف من الداتا شيت ... ولكن في حالة فتح محبس جزئي لتصريف جزء بسيط يمكنك استخدام المعادلة واعتبار الـ H هو ضغط الغلاية.

ولو تريد فتح المحبس وقت معين وعلى أساسه تحتاج تعرف كمية المياه فإن هذه المعادلة فيها الوقت متضمن لو السرعة م / ث ... التصريف سيكون م³/ث وتحسب ستفتح كم دقيقة ومنها تعرف الكمية كاملة.

سؤال متدرب:

هل هناك طريقة لحساب معدل البخر الذي يحدث في برج التبريد؟؟

جواب المهندس أيمن عوني عيد:

معدل البخر يتم حسابه كالتالي:

of recirculating rate (m³/hr) per 10 F degree (Delta T) % 1

شارك المهندس مدحت سعيد خليفة:

$$\text{Evaporation} = (\text{R.R} * \text{Delta T}) / 580$$

حيث أن الـ R.R تشير إلى circulation rate.

وبالنسبة للقيمة 580 (باعتبار أن الدلتا T = 5.8) ويتم الضرب في 1%:

$$E \equiv \frac{\Delta T}{5.8} \times R \times \frac{1}{100} \dots\dots\dots (3.6)$$

Therefore, when 1 percent of circulating water evaporates, the temperature difference becomes approximately 5.8°C. However, the actual evaporation loss becomes smaller than the calculated one in winter because the water is also cooled by the cold air itself. Table 3.6 shows the relationship between the actual and the calculated evaporation losses in each season in Japan.

Equation 3.7 is an equation to calculate more exact evaporation loss by considering the influence of air temperature (dry bulb temperature) on the water evaporation in cooling tower.

$$E = \frac{(0.575 + 0.011 T_d) \times R \times \Delta T}{580} \dots\dots\dots (3.7)$$

where

T_d = air temperature (dry bulb temperature) (°C)

تعقيب المحاضر:

الفقرة السابقة يذكر مؤلف الكتاب ملحوظة هامة وهي أن حجم المياه المتبخرة الحقيقي يقل عن المعدل المحسوب خاصة في شهور الشتاء لأن المياه تبرد بالهواء البارد نفسه ... ثم ذكر معادلة أخرى تحسب معدل البخر بصورة أكثر دقة لأنه وضع تأثير درجة حرارة الهواء (Dry bulb temperature) على تبخر المياه وهي تشير إلى الرمز T_d في المعادلة.

النقاش القادم نستكمل العمليات المائية في أبراج التبريد ونتعرف على موضوع دورات التركيز Concentration of cycles ونستعرض بعض المعادلات الرياضية.

1-

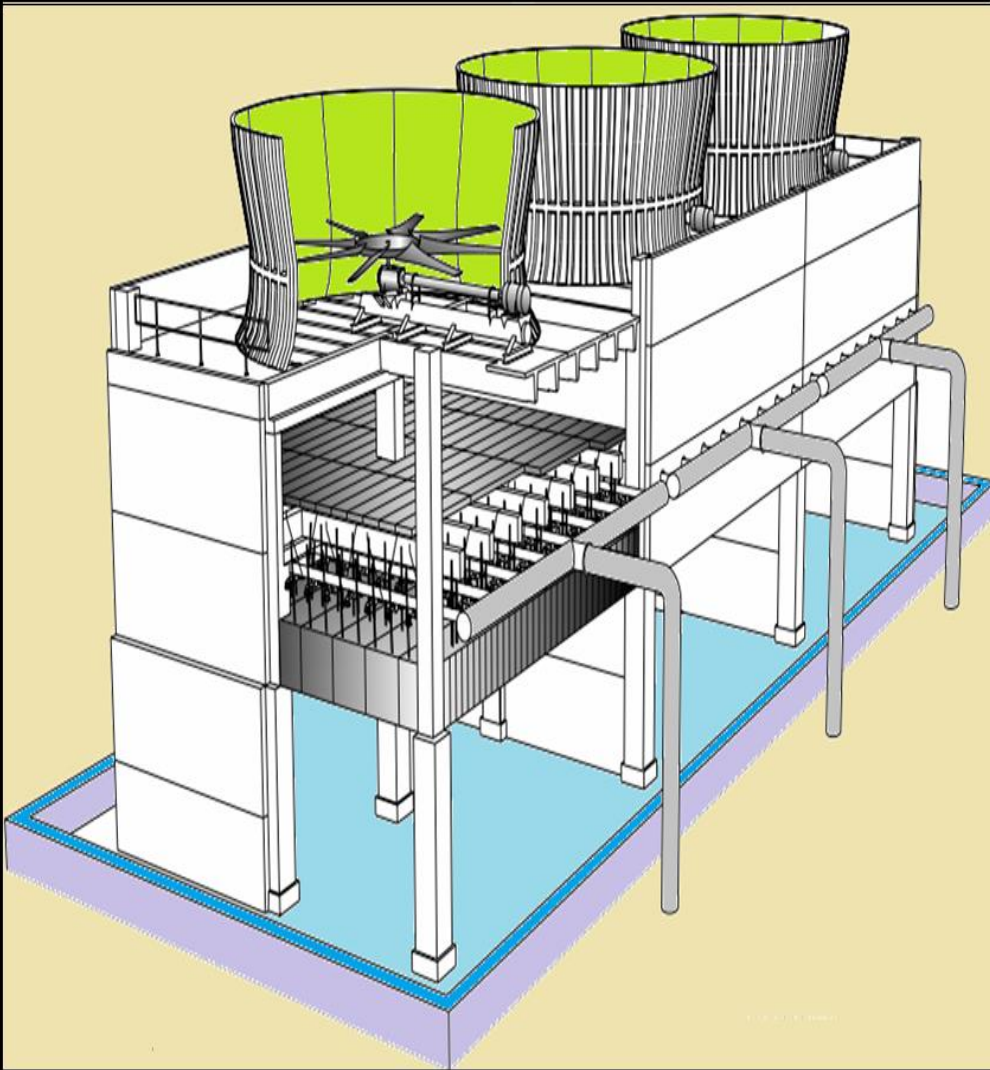


WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

9

حسابات
ومعادلات في
برج التبريد!



النقاش التاسع:-**9- حسابات ومعادلات في برج التبريد!**

تحدثنا عن معدل الدوران circulation rate في النقاش السابق وتحدثنا أيضاً عن أسباب فقد المياه في دائرة برج التبريد النقاش السابق وسردناه في سبع نقاط وهي:

- 1- التبخير Evaporation.
- 2- التفوير Blow down.
- 3- انحراف أو انجراف المياه Water drift.
- 4- التسريبات Leakage.
- 5- فقد المياه بسبب الرياح Windage.
- 6- رش المياه إلى خارج البرج Splash out.
- 7- فيضان المياه Overflow.

وقلنا أنه يجب عمل تعويض بمياه جديدة وهي مياه الـ make-up ... ولأن كل العوامل السبعة السابقة يُمكن إهمالها نتيجة لكمياتها القليلة وتأثيرها الضعيف عدا التبخير والتفوير فإننا نقول أن:

$$\text{Make-up} = \text{evaporation loss} + \text{blowdown}$$

والفقد في التبخير evaporation loss حسابياً نُعبر عنه كالتالي: "كم متر مكعب من المياه يتبخر كل ساعة أثناء التشغيل" وكقاعدة عامة ... عند كل 10 ° فهرنهايت (5.5 درجة مئوية) من تبريد الماء ... يتم فقدان كتلة إجمالية قدرها 1 ٪ بسبب التبخر.

ونظرياً نقول أن كل 100000 كيلو كالوري تُطرح (rejected) يعقبها كمية من المياه المتبخرة تساوي 1.8 متر مكعب ... ويُمكن حساب الفقد في التبخير من المعادلة الظرفية التالية:

$$\text{Evaporation loss (m}^3/\text{hr)} =$$

$$= 0.00085 \times 1.8 \times \text{Circulation rate (m}^3/\text{hr)} \times (T_1 - T_2)$$

(Reference: Perry's Chemical Engineers Hand Book)

حيث أن معدل الدوران يكون بالمتر مكعب في الساعة عند نقطة معينة ... كما أن $T_1 - T_2$ هو الاختلاف بين درجات الحرارة بالسليزيوس (المئوي) للمياه قبل دخول البرج وبعد الخروج منه والتي سبق وأن أشرنا إليها بالـ Range أو الدلتا ΔT .

بالنسبة للرقم 0.00085 فهي معامل التصحيح ويعتمد على ظروف الجو ... لو كان الجو طبيعي يأخذ هذه القيمة ولو كان هناك رطوبة عالية فإن التبخير يقل ويصل معامل التصحيح إلى 0.00065 ... ولو كان الجو جافاً جداً فإن قيمة

المعامل تصل إلى 0.001 أو 0.0012 لزيادة التبخير ... وكل ذلك تقديرات وحسابات غير دقيقة جداً وتخضع للخطأ ولكنها صورة تقريبية لحساب التفوير.

وبالتالي يمكننا الآن معرفة كمية الـ Make-up المطلوبة من خلال معرفة كمية التفوير ومعدل التبخير.

ما هو عدد الدورات **Number of cycles**؟

تأمل هذا الجدول التالي وفي نهاية النقاش سوف تكون مستوعباً له بمنتهى السهولة:

NUMBER OF CYCLES OF CONCENTRATION = Cooling Water Concentration ÷ Makeup Water Concentration						
Water Quality and Cycles of Concentration (CoC)						
Water Status	Conductivity	Total Hardness mg/l as CaCO ₃	Calcium Hardness	Total Alkalinity*	pH**	Silica mg/l
Makeup Water	600	300	150	200	7.5	5
2 CoC	1,200	600	300	400	8.0	10
4 CoC	2,400	1,200	600	800	8.5	20
6 CoC	3,600	1,800	900	1,200	8.8	30
10 CoC	6,000	3,000	1,500	2,000	9.0	50

*with no chemical treatments such as acid **pH is estimated; it may be higher or lower.

تعبير مهم جداً في عالم أبراج التبريد ... ويُطلق عليه أيضاً دورات التركيز أو معامل التركيز Cycles of concentration واختصاراً نقول COC أو CC أو الـ CF (Concentration factor) ... ومعناها ببساطة كم مرة تركزت الأملاح بسبب التبخير (حيث أن المياه المتبخرة تكون نقية إلى حد كبير جداً من الأملاح) ... يعني لو الأملاح في مياه التغذية كانت 300 جزء في المليون ... وزادت في منظومة التبريد إلى 600 جزء من المليون ... معنى ذلك أن:

Cycle of concentration (number of cycles) = 2

فلو افترضنا مثلاً أن أقصى TDS يجب أن لا نتعدها حتى لا يسبب ضرر بالمبادل الحراري هو 1000 جزء في المليون كما يُوصي مُصمم أو مورد المبادل ... معنى ذلك أننا يجب أن نقوم بضبط عملية التفوير بحيث لا يتعدى عدد الدورات (300 / 1000) = 3.3 ... فلو خفضنا التفوير عن حد معين زادت الـ Number of cycles وقد تصل إلى 4 ... يعني الأملاح تصل إلى 1200 وبذلك نكون تعدينا الحد الأقصى للـ TDS المسموح به ... وأيضاً لو رفعنا كمية التفوير فسيكون ذلك إهداراً للمياه والكيماويات التي أضفناها.

ونقول أن دورات التركيز هي النسبة بين الأملاح الذائبة في المياه الدائرة (أو قل إن شئت مياه الblowdown لأن لها نفس تركيب المياه الدائرة ولها نفس الأملاح) إلى تركيز الأملاح في الmake-up ... يُمكن التعبير عن الأملاح بالTDS أو التوصيلية الكهربائية Conductivity.

C.O.C = Cycles of concentration = concentration ratio = ratio of dissolved solids in circulation water to the dissolved solids in make-up water.

أحياناً يتم التعبير عن دورات التركيز بتركيز الكلورايد تحديداً وليس الTDS ... تقرأ ذلك في بعض المراجع ... ويستخدمها البعض عملياً ويعتبرها أدق لأن الكلورايد أكثر استقراراً في النسب ... لذوبانه في الماء ولا يترسب كالكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفات والسيليكا ... وأعتقد المهندس أيمن عوني استفاد في شرح هذه النقطة المناقشة السابقة.

البعض في حساب دورة التركيز يحسبها من تركيز السيليكا لكي تكون أكثر دقة وليس من الأملاح الكلية الذائبة أو الكلورايد.

المهندس أيمن عوني عيد:

معامل التركيز من الممكن أن يصل إلى ٦ مرات لكن يجب وجود فلتر رملي أو cyclone علي البرج.

المهندس أيمن موسيليني عارف:

في ملحوظة في الجدول: ارتفاع الpH مع ارتفاع عدد دورات التركيز ... الطبيعي دورات التركيز تزيد مع ثبات الpH بحقن الحمض للحفاظ على القلوية المطلوبة في الnormal operation.

تعقيب المُحاضر:

تمام ... هو لم يضع إضافة الحمض في الحسبان.

وتم القاء السؤال الهام التالي من قبل أحد المتدربين:

بناءً على ماذا يتم تحديد عدد دورات التركيز؟ هل هو حسب طلب المصنع أو العميل؟ وهل هناك رقم معين يمكن اعتماده؟ وفي حال لم يكن هناك توصية من المصنع كم أقصى قيمة يمكن اعتمادها؟

ردالمهندس سلمان الفارسي:

بناءً علي عدة عوامل منها:

- 1- إذا كان هناك توصية من المصنع بالأ يزيد تركيز أملاح معينة في البرج.
 - 2- نوع مياه التعويض و تحليلها سواء قيمة الأملاح الذائبة أو الكلوريدات أو القلوية ... إلخ
- الحد الأقصى يعتمد علي توصية من شركة الكيماويات وفي الأغلب يعملوا علي أملاح من ٨٠٠-١٠٠٠ جزء في المليون ... وعلي مياه التعويض من ناحية التحليل ... فلو الأملاح عندك كمثال ٤٠٠ جزء في المليون والبرج يعمل

علي تركيز أملاح بحد أقصى ٨٠٠ فأنت ستقوم بعمل دورتين تركيز أما لو كانت مياه التعويض ٢٠٠ فأنت ستقوم بعمل ٤ دورات تركيز.

ردالمهندس حمدي حسن:

لا يستطيع أحد من العاملين تحديد قيمة ثابتة للأملاح الكلية لمياه برج التبريد لاختلاف مصدر مياه التعويض ولكن كما ذكر الإخوة الزملاء معظم شركات المعالجة تعمل على أملاح ذائبة لا تزيد عن 1000 إلى 1200 ميكروسيمنز وعلى سيكل من 2 إلى 5 وذلك لضمان عدم التعرض لمشاكل التآكل أو الترسيب وبخاصة إذا كانت المواسير المستخدمة من الكربون ستيل أو الاستلس ستيل ... أما إذا كنت تريد تحديد أفضل قيمة يمكنك الرجوع للمانيوال الخاص بالمعدات الموجودة بالمصنع سواء كانت مبادلات حرارية أو مواسير أو ضواغط هواء وترجع للجزء الخاص بطبيعة مياه التبريد من حيث الجودة وسوف تجد كل مصنع يضع الحدود المناسبة لحماية المعدة.

ردالمهندس محمود عبد العزيز رزق:

الأفضل الاعتماد على القيمة المحددة في المانيوال ... وغالباً ما يذكر عدد دورات التركيز المثلث لقيمة متوسطة من ال TDS ... مثلاً يذكر أن الCOC المثلث تكون ٣ عند (200 - 150) TDS ... ونراعي اختلاف TDS التعويض لتكافئ قيمة المذكورة في المانيوال فمثلاً لو مياه الدخول 300 تكون الCOC تكون 2 ... واختصاراً كما أجمع سادتنا في المنتدى أن ال Max. TDS داخل المبادل يجب ألا تتعدى ال1000 جزء في المليون.

المهندس أيمن عوني عيد:

بناءً على المعدلات العالمية لتحاليل مياه أبراج التبريد فإن أقصى عدد دورات (معامل التركيز) من الممكن أن تصل إليها هو 6 بشرط تركيب سيكلون أو فلتر جانبي وحجم الفلتر سيكون معدل تصرفه 4% من حجم دوران المياه.

تعقيب المهندس أيمن موسيليني عارف:

تمام ... من الممكن أن يكون فلتر أو أكثر على حسب حجم الدائرة ... عندي مثلاً الcirculation بمقدار 20000 متر مكعب/ساعة ... وعندي 6 فلاتر كل فلتر له معدل تصريف 150 - 170 متر مكعب/ ساعة حتى أقوم بعمل 4-5% فلتر ... وقيمة الTSS لا تتعدى 3 جزء في المليون.

تعقيب المهندس عباس طاهر صالح:

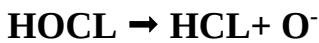
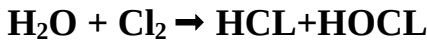
تمام لكن مع الأخذ في الاعتبار عمل particle size analysis لتحديد نوع الفلتر.

وحول اختيار الكلوراييد في حساب معامل التركيز يتحدث المهندس أيمن عوني:

اختيارنا لأملح الكلوريدات في حساب معامل التركيز يُعزي إلى أن جميع أملح الكالسيوم (المسببة للترسيبات) لا تذوب في الماء ماعدا ملح كلوريد الكالسيوم فهي تذوب بنسبة عالية جداً لذلك نحسب معامل التركيز من خلال تركيز الكلوريدات

استفسار المهندس أيمن موسىليني عارف:

بعد حقن الكلور يتحول إلى HCl وأكسجين وهذا تفاعل الكلور الغاز مع الماء:



وبهذا سيُزيد تركيز الكلوريد وحتى أقيس معامل التركيز لو الحساب على أيون الكلوريد ... نُقسم أملح التعويض على أملح البرج.

وخاصة في مصانع الأسمدة (وهذه حالة استثنائية لمصانع الأسمدة) حيث يوجد أمونيا أحياناً في الجو وأحياناً بسبب تهريب أمونيا من بعض المبادلات وقد يصل تركيز الأمونيا في بعض الأوقات إلى 10 جزء في المليون وفي الطبيعي في حدود 1.0 جزء في المليون (وهذه القيم بدون حقن كلور).

وهذا يتطلب إضافة حقن كلور بكميات كبيرة حتى نتخلص من الأمونيا ... وطبعاً تركيز أيون الكلوراييد يزيد زيادة كبيرة ولذلك لا نحسب معامل التركيز على الكلوريدات في الوقت الذي لابد أن نحافظ على القيم المسموح بها من خلال التفوير المستمر

هل نسبة الكلوريد المتكونه من حقن الكلور ستكون مؤثرة في حساب معامل التركيز أم تكون نسبة ضعيفة وغير مؤثرة... وهل حساب معامل التركيز بالكلوريدات بسبب وجود مبادلات ستانلس لها حد أقصى للكلوريد؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

بالنسبة للكلور الذي نحقنه في البرج لا يؤثر في تحليل الكلوريدات وبالنسبة لنسب الكلوريدات المسموح بيها في وجود الاستانليس لا تزيد عن 200 ppm حسب المواصفات الإنجليزية ...

ولا يؤثر على حساب معامل التركيز.

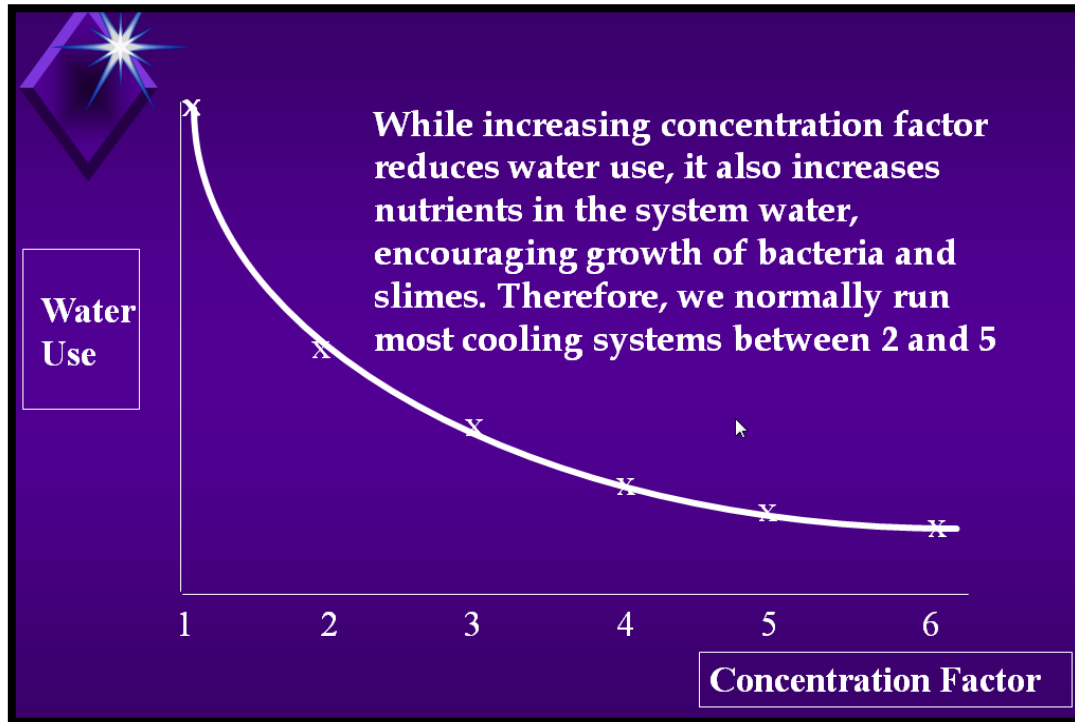
وبالنسبة لمصانع الأسمدة كم سيزيد؟ واحد أو اثنين ppm لا يؤثر كثيراً ... والكلور أصلاً يطير ولا يتحول ل HCl كله بل يتحول لهايبو كلوراس HOCl.

وأنت أصلاً تقيس الكلوريدات في التعويض قبل أن تصل إلى مياه البرج وبهذا تستطيع تحسب معامل التركيز حتي لو الحقن بالغاز.

تعقيب المهندس أيمن موسيليني عارف:

ما أقصده ... أن هناك عامل خارجي وهو الكلورايد نتيجه حقن الكلور بكميات كبيرة نتيجة وجود أمونيا في هذه الحالة لا أستطيع حساب معامل التركيز للأملاح عن طريق الكلوريدات.

بالطبع كلما زادت دورات التركيز قل استهلاك المياه (Make-up water) كما يظهر بالشكل التالي ... ولكن تزيد الأملاح والمغذيات ... ويكون النظام معرض لمشاكل التآكل والفاولينج وترسب قشور الأملاح ... ولذلك فمعظم أنظمة التبريد تنحصر دورات التركيز لها بين 2 و 5:



(كلما زادت دورات التركيز (مع معالجة مياه التبريد) كلما قل الإحتياج للـ make-up water وقلت كمية الكهرباء المستهلكة ولكن على الجانب الآخر تزيد الأملاح وبالتالي زيادة إضافة كيماويات المعالجة).

$$C.O.C = \text{blowdown conductivity} / \text{make-up conductivity}$$

وَيُمْكِنُنا حساب كمية المياه المفقودة في التفوير كالتالي:

$$\text{Blow-down losses} = \text{Evaporation} / (C.O.C - 1)$$

مثال:

برج تبريد له TDS = 200 ppm مياه دخول ... وال TDS = 500 ppm في مياه التفوير ... والتبخير Evaporation = 44 ... ونريد حساب الـ Blowdown والـ Make-up.

الحل:

$$\text{Blow-down} = \text{Evaporation} / (C.C - 1)$$

$$C.C = 500 / 200 = 2.5$$

$$\text{Blow-down} = \text{Evaporation} / (C.C - 1) = 44 / (2.5 - 1) \approx 30$$

$$\text{Make up} = \text{evaporation} + \text{blow down} = 44 + 30 = 74$$

مما سبق نقول أن عدد الدورات يتم حسابها بطريقتين (حسابها مهم لعمل برنامج المعالجة):

الطريقة الأولى: نأتي بتركيز الأملاح الكلية أو ملح من الأملاح أو التوصيلية الخاصة بمياه التفوير ونقسمها على تركيز الأملاح الكلية أو ملح من الأملاح أو التوصيلية الخاصة بمياه التعويض:

$$C.C = \text{TDS (Blow-down)} / \text{TDS (make-up)}$$

بمعنى أنني أستخدم جهاز التوصيلية وأقيس مياه التفوير ومياه التعويض في نفس الوقت وأحسب الـ C.C وأقارن بما وصى بها المصمم.

الطريقة الثانية: نحسب عدد الدورات من كميات المياه في مياه التعويض ونقسمها على مياه التفوير:

$$C.C = \text{Make-up} / \text{blow-down}$$

وبالتالي من معرفة الـ C.C مسبقاً ومياه التعويض أستطيع حساب كمية التفوير التي أحتاجها.

قلنا أن أقصى حد للـ TDS يتم تحديده بواسطة المصمم ... وأحياناً يكون تفاصيل أكثر ... مثلاً يشدد المصمم أن لا يزيد الكلورايد عن 200 جزء في المليون لو كنا نستخدم الاستانلس ستيل ... وموضوع الكلورايد يطول ... ونختصره في أنه يسبب تآكل وحدوث الـ Pitting كما سنشرح بعد ذلك ... وبعض الأبحاث تقول لا بأس بوصول الكلورايد إلى 250 جزء في المليون طالما كانت درجة الحرارة أقل من 45 درجة مئوية ... والبعض رفع الحرارة إلى 60 درجة مئوية. والكلورايد قد يزيد في مياه التغذية إلى 150 جزء في المليون (كما يحدث أثناء السدة الشتوية في نهر النيل) ويزيد داخل منظومة التبريد إلى أكثر من 200 جزء في المليون فلننتبه!

أمر آخر هام هو أن درجة الحرارة قد تزيد لتصل إلى 80 درجة مئوية فتسبب كارثة مع زيادة أيون الكلورايد ... والسبب في هذا الارتفاع هو حدوث مشكلة أو كفاءة المبادل الحراري كترام القشور عليه مما يحفز نشاط الكلورايد حتى لو لم يصل إلى الحد الأقصى من التركيز.

أيضاً يتم التوصية بأقصى تركيز للأمونيا خاصةً إذا كان المبادل الحراري من النحاس ... فمثلاً في مصانع الأسمدة معلوم تلوث الهواء الجوي بالأمونيا والتي تعتبر ثقيلة (أثقل من الكلور) فتمكث على الأرض ... وتدخل مع الهواء المستخدم في التبريد إلى داخل البرج ... فتسبب عدة مشاكل ... منها إذا كان المبادل نحاس

كما أن الأمونيا من المركبات النيتروجينية التي تعتبر من المغذيات التي تسبب نمو بكتيري والتي بدورها تحول الأمونيا إلى نيتريت ثم نترات ثم حمض النيتريك الذي يسبب التآكل أيضاً ... لذا تم وضع نسبة محددة من الأمونيا لا يجب أن نتعدها ... وإلا يتم غلق البرج.

وها قد نرى أن الحديث بدأ يستدعي الكيمياء في كلماته ... فلا تحلو أمسيات المنتدى إلا بالحديث عن الكيمياء والعناصر والمركبات! ... وهي القادم المنتظر في المستوى الثاني ...

النقاش القادم سنبدأ الحديث حول المشكلات والأمور المزعجة الذي لا تترك دائرة التبريد تهنأ في سلام!

وبعدها ندخل في بروتوكولات المعالجة التي ستخوض الحروب معنا ضد الأخطار التي تحيط بأبراج التبريد!

المهندس نادر النجار:

$$\text{Wastage} = \text{drift} + \text{leakage} + \text{purge}.$$

$$\text{Wastage} = \text{Evaporation loss} / (\text{COC} - 1)$$

$$\text{Makeup water} = \text{wastage} + \text{Evaporation loss}$$

المهندس أيمن عوني عيد:

$$\text{Evaporation} = 1\% \text{ of water recirculation } (M^3) @ 10 \text{ F degree of } \Delta T$$

$$\text{Bleed} + \text{windage} = \text{Evapor.} / \text{C.F} - 1$$

$$\text{C.F} = \text{concentration factor}$$

$$\text{C.F} = \text{Cl}^- \text{ in Cooling Tower} / \text{Cl}^- \text{ in feed}$$

$$\text{Cl}^- = \text{Chloride salt}$$

وللتحقق من اختيار سليم لمعامل التركيز يجب حساب ال Ryznar index علي تركيزات مختلفة للوصول إلي التوازن.

المهندس حسام إبراهيم درويش:

العوامل التشغيلية لأبراج التبريد المفتوحة:

أبراج التبريد المفتوحة يُمكن أن تتحمل عبء حرارة عالية مع أقل فقدان في المياه في الوقت نفسه يُمكن أن يسبب ذلك عدة مشاكل ترتبط بكيفية معاملة المياه المستخدمة في هذه المنظومة عند تبخير جزء من المياه فإن مكوناته من المواد الصلبة الذائبة والعالقة تبقى في المياه الباقية في البرج ... وباستمرار عملية التبخير تزداد نسبة هذه المواد في مياه التبريد إلى أن تصل إلى حد معين تبدأ بعدها بالترسب ... والأملاح التي قابلية ذوبانها منخفضة مثل: كربونات الكالسيوم والمغنسيوم والكبريتات والسيليكات تترسب أولاً ... كما أن المواد العالقة سيزداد تركيزها كذلك ... هذه المواد العالقة الطائفة المتأينة من الهواء والماء تعمل كنواة للتكتل وبالتالي يمكن أن تسبب ترسبات خطيرة جداً تقلل من معدل انتقال الحرارة الذي يُزيد استهلاك الطاقة ويقلل كفاءة المنظومة ... وكذلك تساهم الترسبات في انتشار التآكل تحت الترسبات مما يقلل العمر التشغيلي لمنظومة التبريد.

عامل التركيز أعلاه يمكن السيطرة عليه بإزالة جزء من الماء المُركز من برج التبريد وتعويضه بإضافة ماء جديد (Make up water) يحتوي على أملاح بنسبة أقل ... ويُمكن السيطرة على درجة التركيز في البرج بالسيطرة وتغيير النزيف (Blowdown) وهذه تقاس بصيغة دورات التركيز (Cycle of Concentration) وهي النسبة بين المواد الصلبة TDS في ماء برج التبريد إلى المواد الصلبة الذائبة في الماء الجديد المضاف.

مثلاً: إذا كانت الأملاح الذائبة في ماء برج التبريد أربع أضعاف نسبتها في الماء الجديد المُضاف فإن دورة التركيز هي أربعة.

أغلب أبراج التبريد تعمل في مدى دورة تركيز من 3 الى 5 ... السبب أن دورة التركيز الأكبر من 5 نجد أن معدل إضافة كمية المياه الجديدة make-up قليلة ... وكذلك معدل تكون الترسبات أكبر ... وأقل من 3 نجد أننا نحتاج إلى كمية كبيرة من المياه الجديدة make-up وفي الحالتين ندخل في ظروف التشغيل غير الإقتصادي.

في منظومات التبريد ... كمية المياه داخل النظام تظل ثابتة تحت التشغيل المستقر ... لذا كمية المياه الجديدة make-up تساوي مجموع المياه المفقودة من النظام بواسطة التبخير "E" والنزف "B" وأي فقودات أخرى نتيجة التسربات وغيرها "W".

$$M = E + B + W$$

ومن تعريف دورة التركيز نستنبط المعادلة الآتية:

$$COC = CR/CM$$

CR: يمثل تركيز الأملاح في مياه البرج.

CM: تركيز الأملاح في المياه الجديدة Make-up.

بعمل موازنة مادة حول الأملاح الذائبة نجد:

$$CM \cdot M = CR \times (B+W)$$

ملاحظة: تركيز الأملاح في المياه المتبخرة يساوي صفر ... لذا لم تذكر في المعادلة.

وباستخدام المعادلتين أعلاه نجد أن:

$$COC = CR/CM = M / (B+W)$$

وبدمج المعادلة أعلاه مع:

$$M = E + B + W$$

نحصل على:

$$COC = (E + B + W) / (B + W)$$

وبترتيب المعادلة أعلاه يُمكن تحديد كمية مياه النزف المطلوبة بمعرفة دورة التركيز ومعدل التبخر وكمية الفقودات الأخرى W.

$$B = (E + W - COC \times W) / (COC - 1)$$

وبما أن الفقودات الأخرى W منخفضة يمكن اعتبارها تساوي صفراً.

$$B = E / (COC - 1)$$

مع العلم بأن معدل التبخر يمكن حسابها بالمعادلة التالية:

$$E = (dT/5.8) \times R \times (1/100)$$

حيث:

dT : الفرق في درجة حرارة الماء بين الداخل والخارج من منظومة التبريد.

R : معدل المياه التي يتم تدويرها m^3/h .

المراجع:

1. وقاية المعادن من التآكل- للدكتور المهندس أحمد رشيد محمد الكيلاني.

2. KURITA HANDBOOK OF WATER TREATMENT.

ويتحدث الدكتور أحمد أنور أحمد بأسلوب عامي سلس بسيط عن منظومة التبريد:

طالما وصلنا لرحلة المياه داخل الدوائر ... فقد عرفنا أنه يوجد نوع اسمه **once through system** ... وكان يعيب النظام هذا أنه يستهلك كمية كبيرة جداً من الماء ... لكن أبراج التبريد ميزتها أن المياه بتاعتها بتسحب الحرارة من المعدات المراد تبريدها ... وبما أنها تسحب الحرارة فتبقى وصلت لحرارة أعلى يعني مياه سَخنة ... وترجع للبرج تاني عشان تقابل الهواء وتلاقى المياه السَخنة ... بقت بخار يحمله الهواء ويخرج بيه من أعلى البرج بواسطة المراوح. نسأل نفسنا شوية ... هل البخار الخارج من البرج يحمل معه الأملاح ؟ الإجابة لا (تقريباً يكاد يكون صفر أملاح) ... البخار كان في الأصل ماء بأملاح ولما اتبخرت المياه دي سابت الأملاح بتاعتها وخرجت ... وبكدة حنلاقي إن كل ما البخار يخرج من البرج فالأملاح بتزيد تدريجياً ... وهنا مشكلة !!! زيادة الأملاح تسبب زيادة في التوصيلية الكهربائية ... وإيه المشكلة لما الكهرباء تزيد ؟؟ !! لو رجعنا لعلم التآكل حنلاقي إن كل ما الكهرباء زادت التآكل بيزيد ... وكمان لو درجة الحرارة ارتفعت توجد بعض الأملاح بتترسب على المعدات وبتقلل التبادل الحراري زي معظم أملاح الكالسيوم والماغنسيوم ... يعني زيادة الأملاح يسبب مشكلتين أساسيتين في أبراج التبريد هما التآكل والترسيب. طيب إيه الحل ؟؟؟ هل نرجع لنظام ال **once through system** ونستهلك مياه بكميات مهولة ؟؟ لا طبعاً ... إحنا ممكن نشوف المعدات بتاعتنا تستحمل أملاح في حدود إيه ... وبالتالي لو زادت عن الحدود دي نبتدى نخرج المياه اللي بتزيد أملاحها دي ونحط مكانها مياه جديدة بأملاح أقل ...

المياه الجديدة دي نسميها **Make-up water** أو مياه التعويض ... والمياه اللي بنخرجها من الدائرة بنسميها **Blowdown** وفي ناس بتقول عليها **Bleed** وفي ناس بتقول **Purge** أو تصريف أو تفوير . (طبعاً في اختلاف بين **Purge** و **Blow Down** أو **Bleed** لكن مش حندخل في الاختلاف دلوقتى) ... والمياه التي تحولت لبخار بنسميها **evaporation** أو بخار ... طيب مش كده ممكن المياه اللي داخلة دي أملاحها تزيد ضعف وضعفين وتلات أضعاف ما كانت عليه ؟؟ طبعاً حتزيد وبالتالي ممكن نحط معادلة ... ونحسب فيها معدل التركيز دا كام ...

وفعلاً المهندس أيمن عوني كتبه في الكومنت ورمز له بالرمز **C.F** اختصار ل **Concentration Factor** وكمان المهندس نادر النجار رمز له بالرمز **COC** اختصار ل **Cycle Of Concentration** وممكن نُضيف كمان اختصار **N.C** وهذا اختصار ل **Number of Cycles** وكلها تعنى نفس المعنى ... طب بنحسبه ازاي ؟؟؟ ببساطة نشوف أي

ملح من الأملاح في المياه الداخلة للبرج (مياه التعويض Make-up) ونشوف تركيز كام مرة في البرج ... يعني نأخذ عينة مياه تعويض وعينة مياه البرج ونقسم كمية الملح الموجود في البرج على كمية الملح الموجود في التعويض ودي تبقى معامل التركيز.

المهندس أيمن كمان علمنا حاجة حلوة ... في المعادلة اللي حطها قال:

$$C.F = Cl \text{ (in Cooling Tower)} / Cl \text{ (in feed)}$$

يعني قال كيف نحسب هذا المعامل بواسطة أملاح الكلوريدات ... بقياس الكلوريد الموجود في مياه برج التبريد ونقسمها على الكلوريدات المقاسة في مياه التعويض ... بس خلاص

لكن ممكن نسأل ليه المهندس أيمن اختار الكلوريدات وساب الكبريتات والكربونات ... نرجع للكومننت اللي قولنا فيه إن بعض أملاح الكالسيوم والماغنسيوم بتترسب مع درجات الحرارة العالية ... ليه بعض مش كل ??? لأن ملح زى كلوريد الكالسيوم بيدوب في المياه ولا يترسب بينما كبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم تترسب ... ودا يخلينا نختار في حسابنا لقيمة C.F أو COC أو N.C ملح يكون مش بيتأثر بالحرارة عشان أحصل على نتيجة حقيقية لمعدل التركيز طيب لو أخذنا الحساب على أملاح الكربونات مثلاً ... حنلاقى إن مياه التعويض لما دخلت البرج جزء من أملاحها ترسب على الأسطح الساخنة وبالتالي مش حيظهر في عينة مياه البرج ... يبقى سنحصل على قيمة غير حقيقية لمعدل التركيز .

طيب لما البخار طلع من المراوح وكمان شوية مياه بتركيز عالي طلعناها بنفسنا وسميناها Blowdown كذا البرج حيفضى من المياه والمصنع حيشتكى !!! ... يبقى أكيد لما نعوض بمياه لازم تساوى كل المياه اللي خرجت من البرج .. يبقى من المعادلات اللي ذكرها الزملاء الأفاضل حنلاقى:

$$\text{Makeup water} = \text{wastage} + \text{Evaporation loss}$$

مثلاً قال المهندس نادروم معناها إن التعويض يساوى كل المياه المنصرفة والبخار المفقود

تعالو نقول إن مياه التعويض Makeup water رمزها MU ومياه الصرف blow down رمزها BD والبخار evaporation نعطي له رمز Evap ... وعندنا معلومة تقول أن:

$$MU = \text{Evap} + BD$$

وأيضاً

$$C.F = MU/BD$$

من هنا ممكن نقول :

$$BD * C.C = \text{Evap} + BD$$

يعنى :

$$BD = \text{Evap} / (C.F - 1)$$

دا معناه إن لو عايزين نحسب كمية التفوير اللى عايزين نثبتها فى البرج عشان الأملاح تفضل ثابتة نعوض فى المعادلة السابقة دى ومنها نقول للزميل اللى بيتابع البرج لو سمحت اظبط معدل صرف البرج عند القيمة دى. طب ازاي اعرف قيمة البخار اللى طلع فى الهوا؟؟؟ مقدرش اقف فوق البرج واحسبه وكمان معنديش عداد يقدر يعد شوية بخار ... أعمل ايه فى الورطة دى ؟

الناس عملت لنا معادلة بسيطة قالها المهندس أيمن عونى وهى إن لكل عشر درجات بمقياس الفهرنهايت (يعنى تقريبا 5.5 درجة سيليزيوس) المية بتتفقد 1% من المياه الدوارة فى البرج اللى بنرمز لها بالرمز RR ومعناها recirculating rate أو معدل الدوران ... ودا عبارة عن معدل تدوير المياه بواسطة ظلمبات التدوير اللى بتسحب المية من البرج وتوديها للمصنع وترجع تانى للبرج

Each 10°F that the RR needs to be cooled; one percent of the cooling water is evaporated

سؤال متدرب:

ولكن ألا يكفي ضبط العوامات لتملاً الخزان أتوماتيكيا؟

رد الدكتور أحمد أنور أحمد:

لوعندك حساب لمعدل البخار ... وكذلك تم ضبط معدل التصريف blowdown بناءً على الحسابات سالفة الذكر يمكن ضبط معدل التعويض بدون الحاجة للعوامة ... وإن كانت العوامة هى صمام الأمان حتى لا تزيد الماء فى الحوض وتخرج على شكل overflow.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

10

المشاكل
الكيميائية
والبيولوجية
في أبراج
التبريد!!

CORROSION

SCALE

FOULING

النقاش العاشر:-**10- المشاكل الكيميائية والبيولوجية في أبراج التبريد!**

دوران المياه ما بين المبادل الحراري أو المكثف في المصنع وبرج التبريد ذهاباً وإياباً ... وما يحدث من تغيرات في درجة الحرارة ومن تبخير ومن عمليات التفوير والتعويض للمياه يحتم علينا النظر بعين الاعتبار إلى التغيرات والمشاكل التي تطرأ على هذه المنظومة من خلال الاستعانة بعلم الكيمياء وعلم الأحياء في المستوى الثاني من الدورة التدريبية!

لو تركنا البرج وباقي دائرة التبريد لهذه العمليات بدون تحكم Control فسنجد زيادة في تركيز الأملاح الذائبة TDS ... ارتفاع في الـ pH ... ارتفاع في القلوية ... تذبذب في نمو الكائنات الميكروسكوبية ... ظهور الترسبات الملحية ... ظهور التآكل في الأجزاء المعدنية للمعدات ... قصص كثيرة يجب أن نتعرض لها وسنحاول تبسيطها لفهم المشاكل التي تحدث في دائرة التبريد ... تابع التعليقات ونظرة أولية لفهم القلوية وما حولها لنصل إلى مثلث المشاكل في نهاية المناقشة...

نبدأ أولاً بتعريف القلوية Alkalinity ومسبباتها!:

القلوية باختصار تشير إلى قدرة الماء على معادلة الحمض القوي ... وهناك ثلاث مركبات أساسية تسبب القلوية وهي أيون الهيدروكسيد (OH^-) والكربونات (CO_3^{--}) والبيكربونات (HCO_3^-).
قيمة الأس الهيدروجيني pH تؤثر في تركيز هذه المركبات فمثلاً:

1- عند أس هيدروجيني أقل من 7 ومع الاتجاه إلى القيمة صفر تتحول الكربونات والبيكربونات إلى ثاني أكسيد

الكربون (الذي يذوب في المياه ويكون حمض الكربونيك) .

2- عند أس هيدروجيني أعلى من 7 تبدأ القلوية بأن يكون لها قيمة ... وإلى القيمة 8.3 من الـ pH فإن معظم

القلوية تكون على هيئة بيكربونات ... وعندما ترتفع الـ pH عن هذه القيمة يبدأ التحول من البيكربونات إلى

كربونات وتزيد احتمالية ترسب الكربونات على هيئة Scales.

3- القلوية التي هي في محلول أقل من pH 8.3 يُعبر عنها بال m-alkalinity ... وهي القلوية الكلية أو

الـ total alkalinity.

أما القلوية أكبر من pH 8.3 يُعبر عنها بالـ p- alkalinity.

حرف الـ m يُشير إلى كشاف الميثيل أورانج methyl orange indicator ... وحرف الـ p يُشير إلى كشاف

الفينول فتالين Phenolphthalein indicator ... وهذا يرجع إلى التجربة المعملية لتحديد قيمة القلوية عن

طريق المعايرة مع حمض قوى كحمض الهيدروكلوريك (HCl).

القلوية الكلية في الماء تتم باستخدام كشاف الميثيل البرتقالي ... لذا نطلق عليها m-Alkalinity نسبة إلى

الميثيل أورانج ... وهذه القلوية الكلية تشمل كل الهيدروكسيدات والكربونات والبيكربونات ... وعند نقطة

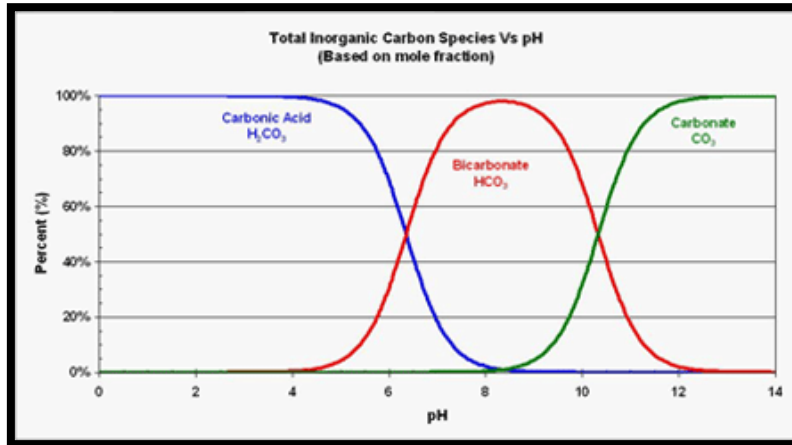
النهاية end point يتحول الكشاف من اللون البرتقالي إلى الأحمر (عند $\text{pH}=4.4$) ويعني ذلك أنه قد تم معادلة كل المركبات السابقة ... هذا بالنسبة لل m-Alkalinity .

أما ال p-alkalinity فتتم بنفس الاختبار السابق ولكن باستخدام كشاف الفينول فتالين الذي يتحول لونه عند ال end point من pink إلى لون شفاف colorless عند أس هيدروجيني 8.3.

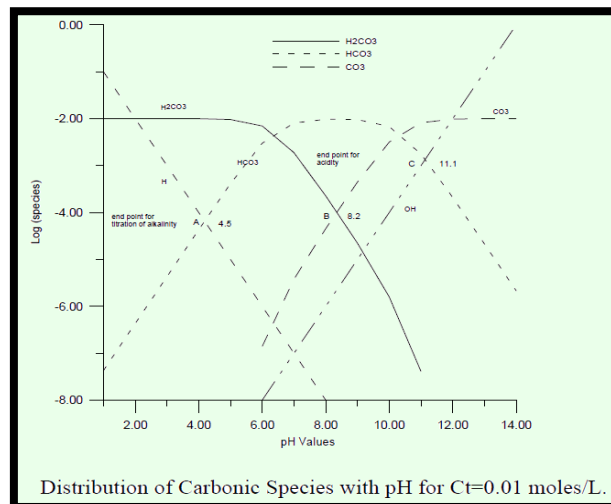
ببساطة ... مياه لها أس هيدروجيني 8.8 ... عندما تعايرها بحمض قوى باستخدام كشاف الفينول فتالين ... يكون لونه pink في البداية ... ومع نزول قطرات الحمض تنخفض ال pH حتى تصل إلى 8.3 فيتحول الفينول فتالين إلى عديم اللون ... هذه هي قيمة ال p-alkalinity .

أيضاً مياه لها أس هيدروجيني 8.8 ببساطة ... عندما تعايرها بحمض قوى باستخدام كشاف الميثيل أورنج ... يكون لونه برتقالي في البداية ... ومع نزول قطرات الحمض تنخفض ال pH حتى تصل إلى 4.4 فيتحول الكشاف إلى اللون الأحمر ... هذه هي قيمة ال m-alkalinity .

4- الصورة التالية توضح هيئة الكربونات والبيكربونات في المياه وأنه كلما زادت قيمة ال pH زادت نسبة الكربونات (CO_3^{--}) وقلت البيكربونات HCO_3^- كما أن ثاني أكسيد الكربون الذائب في الماء على هيئة حمض الكربونيك Carbonic acid يكون هو السائد في الوسط الحمضي:



والصورة التالية توضح تركيزات المركبات المختلفة المسببة للقلوية مع التغير في ال pH ...



علماً بأن ال (Ct = Total dissolved inorganic carbon) وهي مجموع المركبات الكربونية الغير عضوية الذائبة.

5- هناك معادلة يُمكن من خلالها استنتاج قيمة ال pH من خلال ال m-alkalinity أو العكس كالتالي (ونستطيع أن نعمل excel sheet منها):

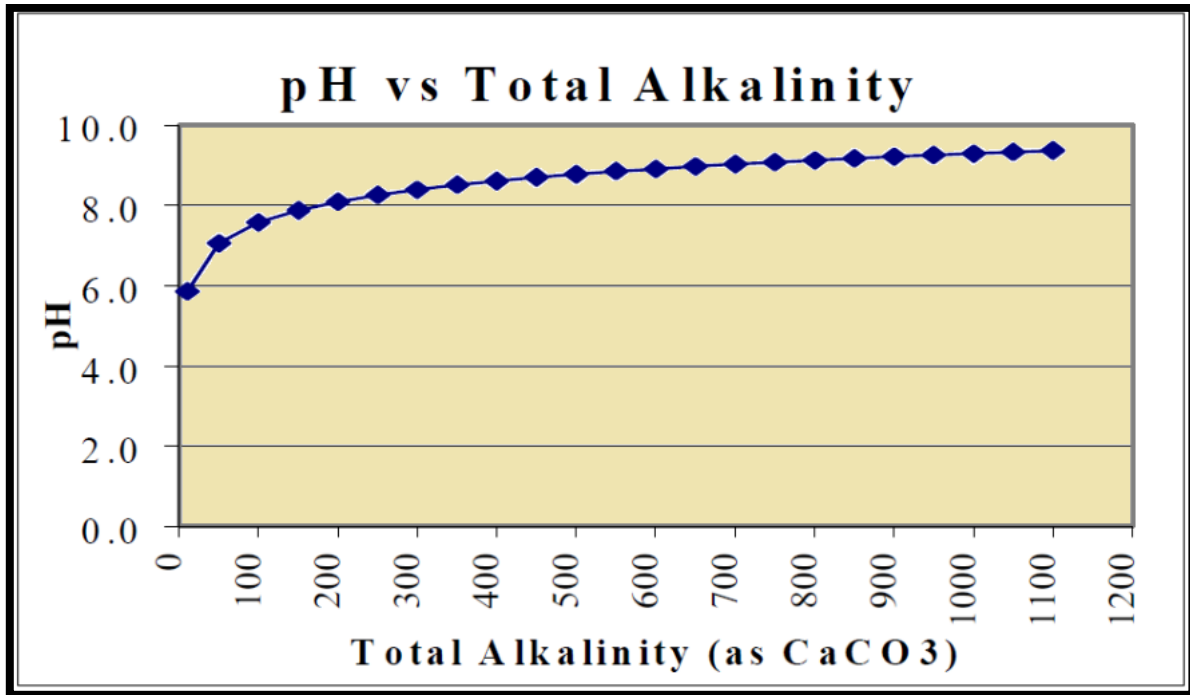
$$pH_{\text{actual}} = 1.7177 \log (M \text{ alk}) + 4.1333$$

Remember this is only an approximation, but should be quite useful in performing your cooling tower cycling calculations.

This can be easily entered into an Excel spreadsheet with the following formula, assuming the total alkalinity has been entered in cell A1.

$$=1.7177*LOG(A1)+4.1333$$

ولكن ننبه أن هذه المعادلة لا تُعطي قيمة دقيقة جداً ولكن قيمة تقريبية ويبقى التحليل المعمل هو الأصل. ونفس الشيء من الرسم البياني التالي:



(مثلاً عن قلوية كلية 200 تكون ال pH في حدود 8.0 وهكذا).

انظر الجدول التالي:

pH versus Total Alkalinity	
<i>per Water Text</i>	
Total Alkalinity (ppm as CaCO₃)	pH
10	5.9
50	7.1
100	7.6
150	7.9
200	8.1
250	8.3
300	8.4
350	8.5
400	8.6
450	8.7
500	8.8
550	8.8
600	8.9
650	9.0
700	9.0
750	9.1
800	9.1
850	9.2
900	9.2
950	9.2
1000	9.3
1050	9.3
1100	9.4

الدكتور أحمد أنور أحمد:

من الممكن أن نقول أيضاً أننا عندما نأخذ عينة من برج تبريد ... تكون قيمة ال pH غالباً عالية ... وطبعاً كاشف الفينول فتالين ينزل ال pH إلى 8.3 بينما كاشف الميثيل أورانج ينزل بها حتى تصل إلى 4.4 وهذا معناه أننا يجب

أن نقيس ال p-Alkalinity في البداية

وبعدها نقيس M-Alkalinity.

فى وقت القياس نبدأ بالكاشف الأول كي ننزل بها ل 8.3 وبالتالي نحسب قيمة p-Alkalinity ... لكن ماذا لو كانت قيمتها صفر؟ ... إذاً نكمل نزول ال pH حتى نصل إلى 4.4 وبهذا نقدر أن نحدد قيمة ال M-Alkalinity. اختصاراً لكلامى ... تجربة تعيين القلوية فى مياه التبريد تبدأ بتعيين قيمة p-Alkalinity ثم نستمر لإيجاد قيمة M-Alkalinity.

بالنسبة للناس المبتدئين ... عندما نذهب إلى الموقع نأخذ معنا أدوات وكواشف لتعيين القلوية ... نجد عبوة (قطارة) مكتوب عليها 1 Alkalinity نبدأ بها التحليل ... نضيف نقاط بسيطة مثلما هو مكتوب على العبوة فإذا وجدنا لون المياه الشفاف تحول إلى لون وردى فهذا معناه أن العينة فيها p-Alkalinity وبالتالي نعمل معايرة titration بالمحلول ونحدد منه بمعادلة بسيطة قيمتها أما لو العينة استمرت شفافة كما هى ... فتكون نتيجة ال p-Alkalinity = صفر ... ونكمل التحليل يعنى نضيف من العبوة المكتوب عليها 2 Alkalinity وطبعاً اللون الشفاف سيبقى مخضر إلى حد ما... نعمل المعايرة حتى يتحول اللون إلى الأحمر ... فى هذه اللحظة نقيس كمية المحلول ونعوض فى معادلة ونحصل على M-Alkalinity ... هذا هو الشغل العملي الذي به نقيس القلوية فى الموقع.

المهندس أيمن موسيلينى عارف:

وأيضاً نأخذ حذرنا أثناء تعيين القلوية من تركيز الكلور فى العينة فقد لا يعطى لوناً مع الكاشف وخاصةً إذا تجاوز الكلور الحر 3 ppm فيجب إزالة الكلور من العينة قبل تعيين القلوية (الميثيل أورانج يتكسر بالكلور). والآن ننتقل إلى الأملاح وال pH وثاني أكسيد الكربون والقلوية ونفك الاشتباك كي نحصل على تصور لما يحدث فى برج التبريد!

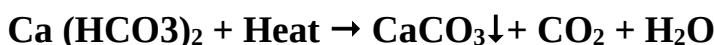
أسئلة يجب الإجابة عليها:

لماذا مع التشغيل تزيد الأملاح الكلية الذائبة TDS (أوال Dissolved solids) فى دائرة برج التبريد؟ ولماذا تزيد ال pH والقلوية Alkalinity ونضطر إلى إضافة حامض لمعادلة الزيادة؟ وما موقف ثاني أكسيد الكربون من الإعراب؟!

دع ما حولك وانتبه الآن!

تحدثنا من قبل عن دورات التركيز أو ال (Concentration of cycles (CC) وقلنا أن الأملاح الذائبة فى مياه التغذية لو كانت 100 جزء فى المليون مثلاً ... مع التبخير يزيد تركيز هذه الأملاح ... إذا وصلت ل 200 جزء فى المليون فإن ال CC تساوى 2 ... يعنى تركيزات الأملاح إلى الضعف وهكذا. لكي نعرف المترتب على زيادة تركيز الأملاح يجب أن نرى ماذا يحدث فى أملاح البيكربونات المسكينة التي تدخل فى مياه الفيد إلى المنظومة!

بيكربونات الكالسيوم $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$... عند ارتفاع درجة حرارة المياه فى المبادل الحراري يحدث التفاعل التالي لها:



كربونات الكالسيوم يترسب جزء منها في المبادل وما حوله وجزء يدخل برج التبريد مع ثاني أكسيد الكربون المتحرر من التفاعل ...

الكربونات تزيد القلوية والـ pH!

أيضاً ثاني أكسيد الكربون الذي انطلق من التفاعل السابق بجانب الذائب أصلاً في مياه التغذية ينطلق إلى الجو من برج التبريد مع وجود زيادة في البيكربونات والكربونات ولا يعاود الذوبان في المياه على عكس طبيعته وسنذكر السبب الآن زيادة تركيز الأملاح تسبب طرد غاز ثاني أكسيد الكربون ... هذا سبب ويسمونه Salted-out.

السبب الثاني هو عملية التهوية aeration القوية والتدفق العالي للهواء داخل البرج ومواجهته مع قطرات المياه المفتتة تدفع ثاني أكسيد الكربون على التحرر والانطلاق إلى الجو مع البخار نتيجة الـ [Low CO2 partial pressure in air](#).

عملية نزع ثاني أكسيد الكربون تسمى [Blowing-off CO2 أو Decarbonation](#).

يتم تطاير ثاني أكسيد الكربون من قبل الهواء الصاعد في البرج فيتم نزعها من المياه ... Stripping out of CO2 ... فلا يبقى له أثر يذكر فترتفع الـ pH أكثر ... وتهيأ الفرصة أكثر لترسب كربونات الكالسيوم والتي تزيد مع زيادة عدد الدورات هي والأملاح الأخرى وتسبب ارتفاع في الـ pH ... تلك هي القصة ببساطة!

واليك مثال على برج تبريد مياه التعويض make up (أو المياه الخام) التي تدخل عليه كانت قياساتها كالتالي:

pH = 7.0

Alkalinity (as CaCO₃) = 100 mg/l

Free CO₂ = 20 mg/l

وفي المياه المسترجعة (بعد 4 دورات تركيز 4 cycles of concentration) كانت القياسات كالتالي:

pH > 8.0

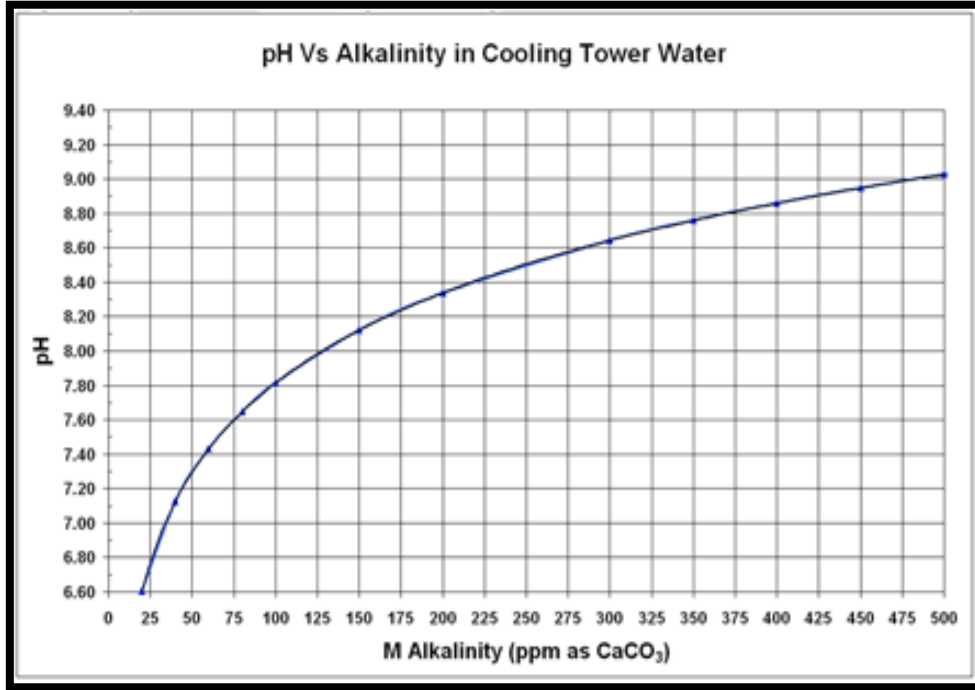
Alkalinity (as CaCO₃) = 400 mg/l

Free CO₂ = 5 mg/l

(بالتأكيد قد لاحظت انخفاض نسبة ثاني أكسيد الكربون وارتفاع تركيز الكربونات وبالتالي ارتفاع القلوية والـ pH).

من حين لآخر – كما تحدثنا في المناقشات السابقة – يتم التخلص من كمية من الماء في البرج أو مانسميه Blow down أو Blow off والتعويض بمياه جديدة raw water في عملية الـ make up وبالتأكيد تنخفض قيمة الـ pH لانخفاضها في المياه الجديدة.

وهكذا نقول أن الـ pH تزيد مع عدد دورات التركيز Cycles ... والصورة التالية توضح علاقة الكربونات والـ pH في أبراج التبريد (تزيد الـ pH مع زيادة تركيز الكربونات):



هل يمكن أن تنخفض الـ pH لمياه برج التبريد عن مياه التغذية ولا ترتفع؟ وتنخفض درجة كاملة أو أكثر؟

نعم أحياناً يحدث ذلك على غير العادة ... وإليك عدة أسباب:

1- زيادة في جرعة الحامض المضاف (بسبب مشكلة في طلمبة الحقن أو نتيجة لقراءة خاطئة لجهاز البي إتش pH الأونلاين فترسل رسالة بزيادة جرعة الحمض).

1- زيادة في جرعة موانع التآكل أو الترسيب بسبب مشكلة في طلمبة الحقن. (ومثال لذلك حمض الفوسفوريك).

2- وجود بكتيريا وطحالب تفرز مواد تقلل الـ pH ... ولذلك يجب عمل تطهير للمنظومة.

3- وجود نسبة أمونيا في المياه خاصة في شركات الأسمدة تسبب انتعاش للبكتيريا التي تحول الأمونيا إلى نيتريت ثم نترات ثم حمض النيتريك.

4- وجود بكتيريا اختزال الكبريت التي تحول مركباته إلى حمض الكبريتيك.

5- سحب هواء ملوث داخل البرج يحتوي على غاز ثاني أوكسيد الكربون بتركيزات عالية بسبب نواتج حرق مصنع بجانب البرج يؤدي إلى ذوبانه في المياه ليكون حمض الكربونيك مرة أخرى ... وإن كان ذلك بعيداً لكن وارد.

تعقيب المهندس أحمد حميدة سليم:

ومنها أيضاً حدوث تسريب من كوندنسررات بها مواد حامضية كما في دوائر مصانع منتجات الذرة.

تعقيب المهندس أيمن موسيليني عارف:

فعلاً عندما يكون فيه أمونيا في البرج ... فإنه يحتاج كمية كلور كبيرة لعمل كنترول عليها ... وأحيانا تتكون نيتريت ثم نترات ثم حمض النيتريك الذي يكون سبباً في خفض الـ pH ومن ثم خفض الـ m.alk ... وفي هذه الحالة يكون فيه مشكلة ... إذا كان حقن الكلور غاز لأنه سيقفل الـ pH أكثر ... وطبعاً في وجود مشكلة مثل هذه ... يتم حقن non-oxidizing Biocide يصل إلى 100 ppm ... في دائرة مغلقة لمدة 24 ساعة ... ومن الأخطاء التي تتم في مثل هذا التلوث يتم زيادة حقن الكلور بصورة كبيرة ويكون كلور غاز ... طبعاً سيكون HCl مع وجود حمض النيتريك وقلوية ضعيفة فتتدهار القلوية وتقل الـ pH إلى أدنى مستوى ...

بالنسبة للقلوية في أبراج التبريد يجب أن لا تزيد عن قيمة معينة تبعاً لظروف كل برج ولأن زيادتها تؤثر على الـ LSI التي قد تصل إلى أكثر من 2.5 وبالتالي يكون هناك ترسيب قوى للأملاح وتكون القشور scales كما سنبين بعد ذلك في شرح الـ LSI.

زيادة الأملاح أيضاً تعني زيادة العسر (وهي أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم).

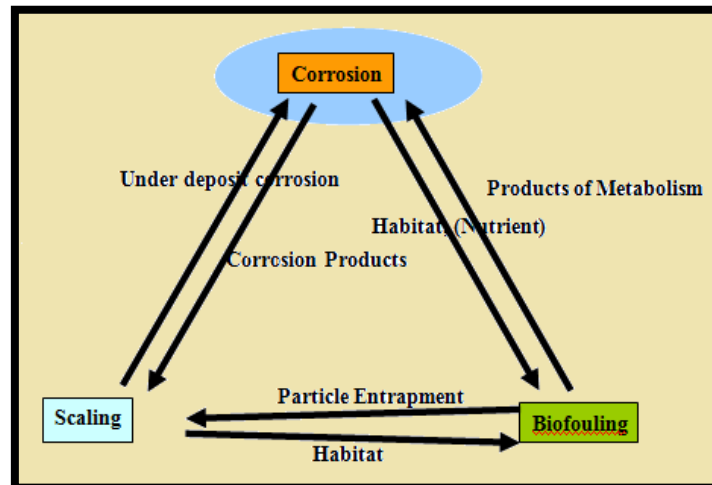
نسأل الآن ... ما الذي سيجرب على زيادة الأملاح بصفة عامة والكربونات بصفة خاصة والـ pH والقلوية والعسر؟؟

زيادة تركيز الأملاح معناه زيادة الأيونات السالبة والموجبة في المياه وهو أمر تحفيزي لحدوث التآكل Corrosion كما سنبين بعد ذلك ... زيادة تركيز الأملاح يؤدي إلى عملية الترسيب وتكون قشور الأملاح scaling من جانب آخر ... زيادة تركيز الأملاح قد يكون من بينها أملاح مغذية nutrients تسبب النمو البيولوجي وبالتالي البايوفولنج. حدوث التآكل يكون فجوات cavities على الأسطح المعدنية فيشجع الأملاح على الترسيب وتكون القشور أكثر من السطوح الملساء ... كما يشجع على النمو البيولوجي في أماكن التآكل.

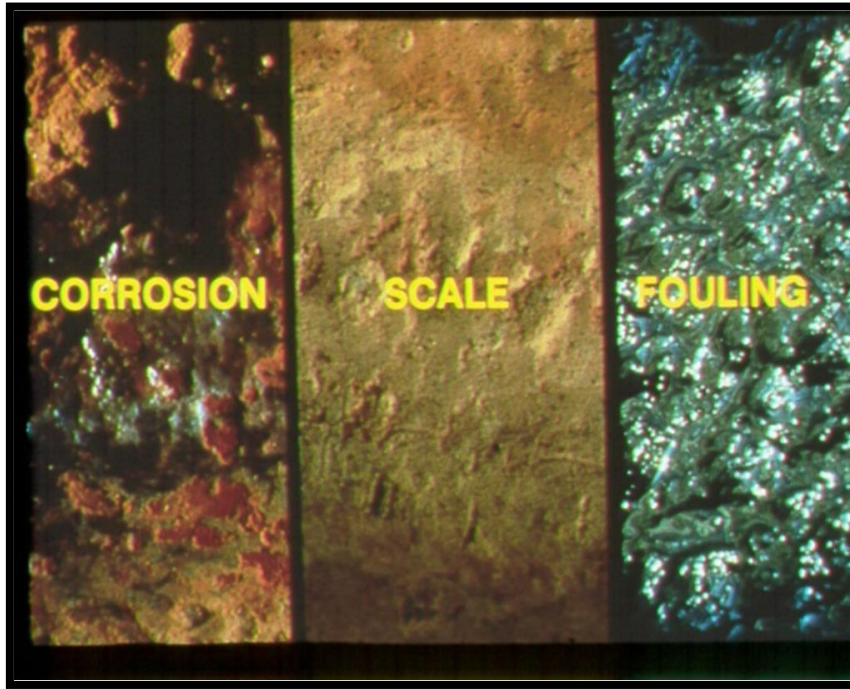
النمو البيولوجي يفرز مواد حامضية تقلل الـ pH فتسبب التآكل!

تكون القشور يؤدي إلى تكون فجوات على السطح (gaps) والتي تعتبر ملاجئ عظيمة تحتمي فيها البكتيريا!

إنها دائرة مغلقة أو قل مثلث المتاعب بين التآكل والقشور والنمو البيولوجي وكل مشكلة تؤدي إلى الأخرى ... انظر إلى الصورة التوضيحية التالية:



وهذه صورة توضح الفرق بين المشاكل الثلاثة (البايوفاولينج على اليمين وترسبات القشور في الوسط والتآكل على اليسار)



المهندس سلمان الفارسي:

مشاكل أبراج التبريد تنحصر في:

- 1- Scales.
- 2- Corrosion.
- 3- Biofouling.
- 4- Fouling.

مشاكل دوائر الشيللر تنحصر في:

- 1- Corrosion.
- 2- Biofouling.

ومن الآن نتكلم عن كل جزء من أجزاء المثلث بشيء من التفصيل ... تكوين القشور ... التآكل ... البايوفاولينج ... ثم نتكلم عن برامج المعالجة لضبط مياه التبريد وتطويعها حتى تكون مسالمة ومُهذبة مع أجزاء البرج والمبادل في الوحدة أو المصنع.

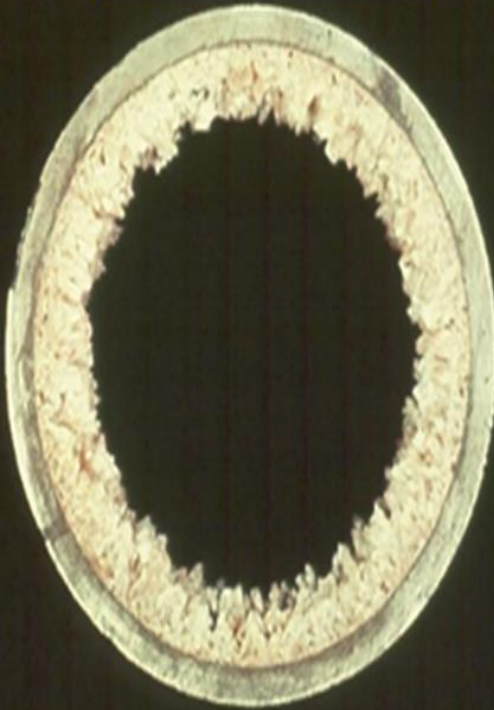
انتظرونا النقاش القادم ...



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

Scale



11

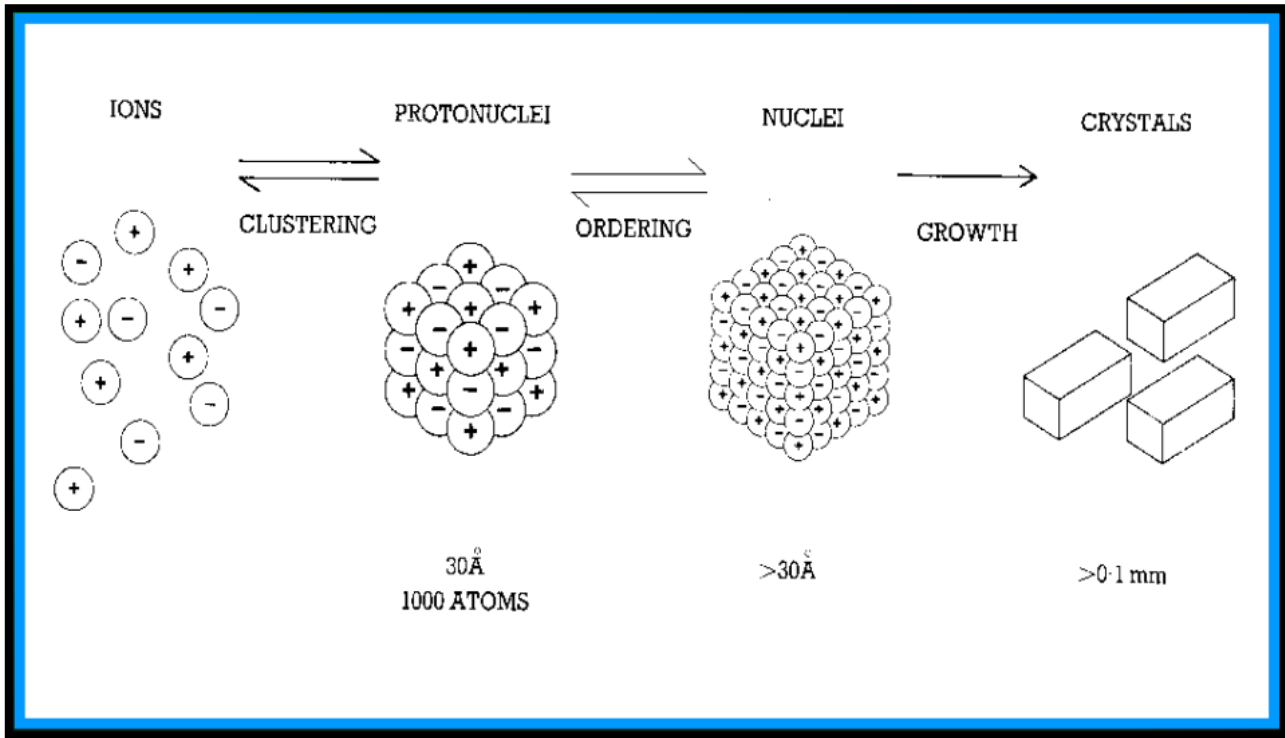
تكوين

القشور

الملحية !!

النقاش الحادي عشر:-**11- تكون القشور (Scales)**

تكون القشور scales أو رواسب الأملاح الغير عضوية على الأسطح أو ما نسميه Deposition ... يحدث ذلك على الخطوط أو المبادل الحراري أو المكثفات أو بقية أجزاء دائرة التبريد ... وتؤثر عليها عدة عوامل كما سنتحدث عنها. تتلخص القصة في أن الأملاح الذائبة (الأيونات) في المياه تبدأ في تكوين بلورات فيما يُعرف بالcrystallization خاصةً لو بدأت بأنوية أولية protonuclie من حوالي 1000 ذرة تتجمع عليها جزيئات الأملاح (عملية الNucleation) فيزيد وزنها وتتكون كريستالات وتتساقط وترسب على الأسطح.



سطح المعدن نفسه لأن له ملمس خشن وسرعة المياه المجاورة له أقل ... فبالتالي يعطي مكاناً ممتازاً لبلورات الأملاح بالاستقرار عليه!

3 خطوات لتكون القشور الملحية scales:

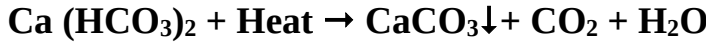
1- تجمع الأيونات الموجبة والسالبة على هيئة عناقيد clustering كعناقيد العنب (حوالي 1000 ذرة وتعتبر نواة أولية لبناء البلورات proto-nuclei ... وكلمة proto يعني بادئة ... والنuclei هي جمع nucleus وهي النواة باللغة اللاتينية).

2- انتظام الأيونات في شكل منتظم Ordering.

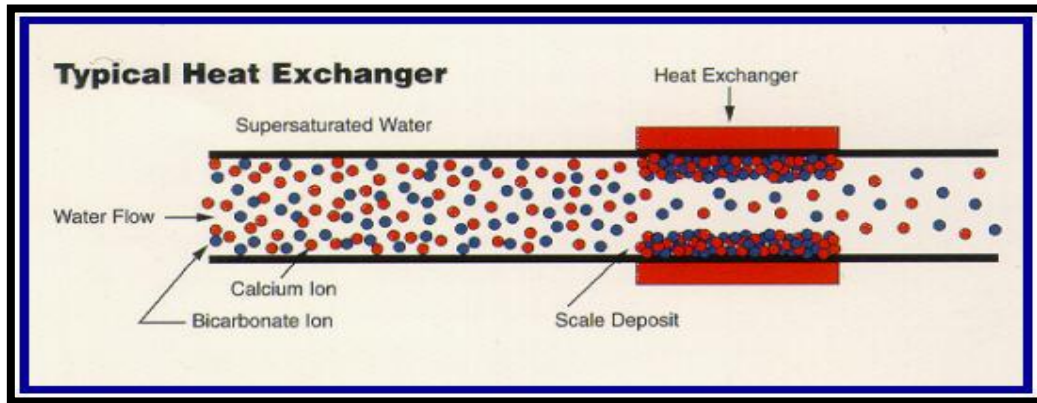
3- نمو البلورات (الكريستالات) Crystallization.

حجم تجمع الأيونات في المرحلة الأولى يُقدر في المتوسط بـ 30 أنجستروم وفي مرحلة الترتيب أكبر من 30 أنجستروم ليصل لأكثر من 0.1 ملليمتر في مرحلة تكوين البلورات.

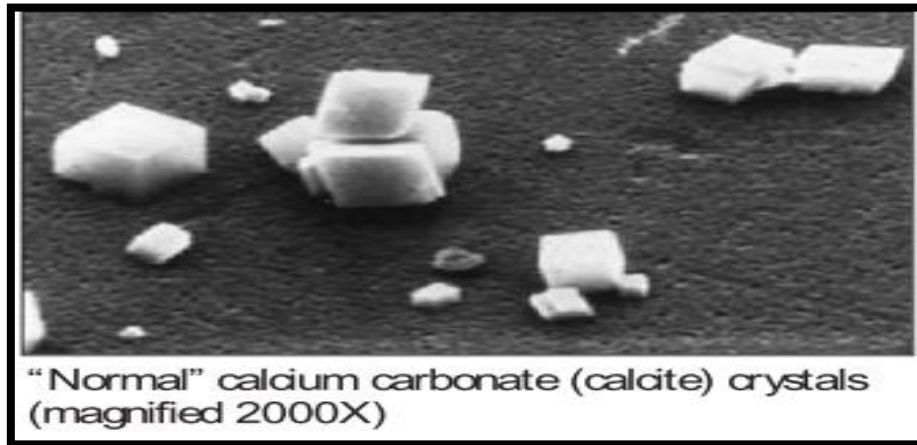
كربونات الكالسيوم CaCO_3 تتكون وتترسب بقوة عندما تمر المياه التي تحتوي على بيكربونات الكالسيوم على وسط ساخن (أو مع زيادة الأس الهيدروجيني) كما في المبادل فيحدث التفاعل التالي:



انظر الصورة التوضيحية التالية التي تبين تكون القشور على المبادل الحراري:



وهذه صورة لترسب بلورات كربونات الكالسيوم (مكبرة 2000 مرة):



وهذه صور لخطوط ترسبت على جدرانها الداخلية قشور الأملاح scales:



وهذه صورة لماسورة ترسبت فيها ال scales:

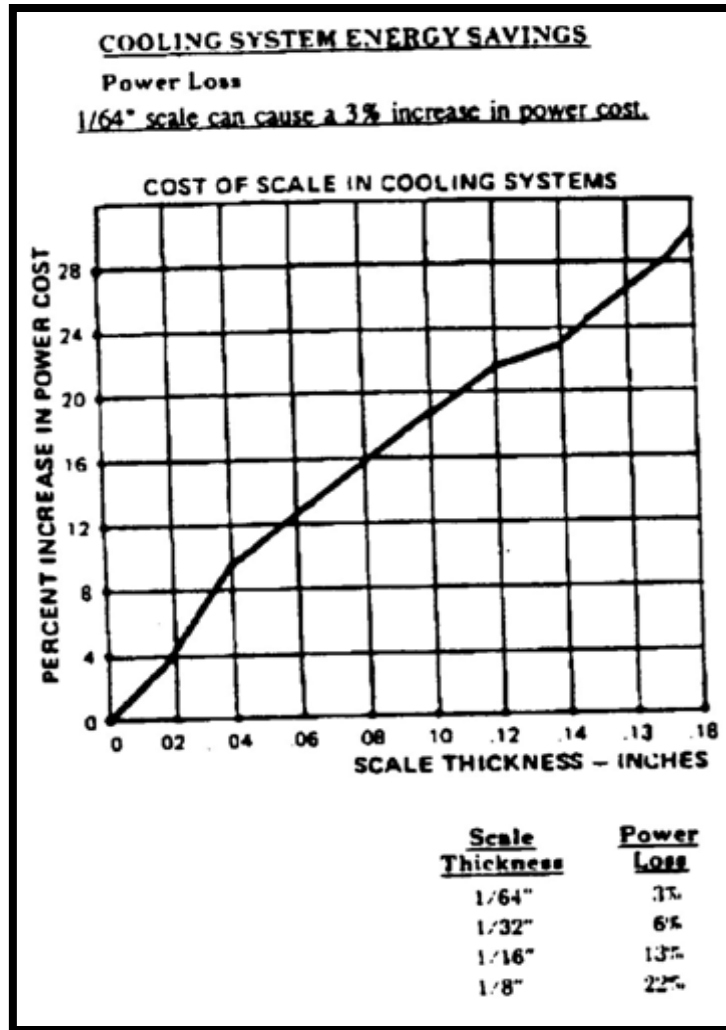


وهذا لخط ترسبت عليه الأملاح من الداخل على (اليسار) وتم معالجته (على اليمين) كما سنبين بعد ذلك في المعالجة الكيميائية:



خطورة ترسب الأملاح على الأسطح:

الأملاح التي تترسب على أسطح المبادل الحراري تؤدي إلى تقليل كفاءتها بسبب العزل الحراري ... يعني تقلل انتقال الحرارة heat transfer ... وبالتالي نحتاج لطاقة أكبر لإتمام عملية التبريد ... انظر الرسم البياني التالي يوضح خطورة القشور كلما زادت في السُمك thickness على الأسطح واستهلاكنا لطاقة أعلى ... ونجد ال curve يصعد بدرجة مخيفة بسبب الزيادة في استهلاك الطاقة:



معلومة لك!

1.5 ميللمتر سُمك من كربونات الكالسيوم تقلل الانتقال الحراري thermal efficiency حوالي 12.5% و 0.5 ميللمتر سُمك من كربونات الكالسيوم تقلل الانتقال الحراري حوالي 3.5%!

given volume of chilled water. Various studies have shown a non-linear electrical power cost increase with increased scale thickness, for instance 0.5 mils of calcium scale results in a power cost increase of 3.5%, while 1.5 mils increases power cost to approximately 12.5%.

وفي مراجع أخرى ذكر 0.04 بدلاً من 1.5 ميللمتر!

وكما قلنا من قبل ... أن زيادة ترسب الأملاح يُفاقم مشكلة التآكل والنمو البيولوجي وهما الزاويتين الأخريين من مثلث المتاعب.

وتكون القشور أيضاً يسبب زيادة في ضيق مسار المياه أو القطر الداخلي للخطوط Inner diameter فيقل السريان flow ... وقلة السريان معناها أن كسح الخط بجريان المياه يقل فيزيد من فرصة ترسب الأملاح أكثر وأكثر! تكون القشور في ثقب الموزعات nozzles في برج التبريد يسد ويعوق سريان المياه!

لنتعرف الآن على أهم الأملاح التي تترسب على الأسطح:

الماء الطبيعي يحتوى على مجموعة من الأملاح الذائبة (dissolved salts or solids) أو قل إن شئت الTDS ... كما أن الإضافات الكيماوية في برامج المعالجة تُضاف إلى هذه المجموعة ... أيضاً نواتج التآكل كأكاسيد الحديد تنضم إلى هذه المجموعة وتكون ترسبات ملحية ... انظر الجدول التالي الذي يتضمن عدد من أهم هذه الأملاح:

Calcium carbonate (CaCO_3)	كربونات الكالسيوم
Magnesium hydroxide $\text{Mg}(\text{OH})_2$	هيدروكسيد المغنيسيوم
Calcium and magnesium phosphate $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	فوسفات الكالسيوم والمغنيسيوم
Calcium and magnesium sulphate	كبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم
Silica	السيليكا
Calcium and magnesium silicate	سيليكات الكالسيوم والمغنيسيوم
Iron oxide	أكسيد الحديد
Iron phosphate	فوسفات الحديد
Aluminum phosphate	فوسفات الألومنيوم
Zinc phosphate	فوسفات الزنك

ملاحظات على الجدول السابق والأملاح المذكورة:

- 1- أهم الأملاح هي أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم (مسببات العسر) وقشور السيليكا وغيرها.
- 2- قشور كربونات الكالسيوم هي الأكثر شيوعاً في أى نوع من المياه لأنها أقل ذوبانية في المياه بالمقارنة بسيليكات الكالسيوم أو كبريتات الكالسيوم.
- 3- المغنيسيوم يرتبط بالسيليكا أكثر من الكالسيوم مع السيليكا ويكون قشور صلبة جداً من ال magnesium sulphate لا يمكن إزالتها إلا بالمطرقة!
- 4- غالباً لا نعانى من قشور السيليكا كثيراً في أبراج ودوائر التبريد مثل قشور الكالسيوم بعكس خطورتها في أغشية التناضح العكسي RO والغلايات Boilers.
- 5- كربونات الكالسيوم أو المغنيسيوم تسبب قشور بيضاء ... وفوسفات الكالسيوم يميل إلى الإصفرار ويزيد لو كنا أضفنا فوسفات بجرعة أكبر من الموصى بها.

6- فوسفات الحديد وفوسفات الألومنيوم يتكونان إذا كانت مياه التغذية تم عمل ترويق لها بالشبة أو كلوريد الحديد ... وفي نفس الوقت الفوسفات يستخدم في المعالجة ... يتحد الحديد أو الألومنيوم الثلاثي بالفوسفات ويترسبوا.

7- ترسبات فوسفات الزنك يزيد مع إضافته كمانع التآكل في ظروف معينة سنتحدث عنها.

تعليق المهندس أحمد محمد محمود:

1- أنواع ال scales التي من المحتمل تكونها في أنظمة مياه التبريد :-

1- قشور كربونات الكالسيوم وتكونها نتيجة احتواء المياه على بيكربونات الكالسيوم في المياه الساخنة ويمكن التحكم في تكونها بضبط الأس الهيدروجيني pH.

2- قشور كبريتات الكالسيوم وتكون في صورة الجبس ويتم التحكم في تكونها بضبط معدلات ال blowdown أو المعالجة الكيميائية.

3- قشور سيليكات الكالسيوم والماغنسيوم وتتكون في مياه أنظمة التبريد والتحكم في تكونها يكون بالمعالجة الكيميائية أو ال blowdown.

4- قشور فوسفات الكالسيوم وتنتج من التفاعل بين أملاح الكالسيوم و الأورثوفوسفات والتي قد توجد بفعل دخول مياه صرف على مياه التبريد أو البولي فوسفات الموجودة في مياه المنظومة.

العوامل التي تؤثر على تكون القشور:

1- تركيز الأملاح Minerals concentration:

كلما زاد تركيز الأملاح زادت إمكانية ترسب الأملاح لقرب وصولها أو وصولها إلى درجة التشبع في الماء saturation.

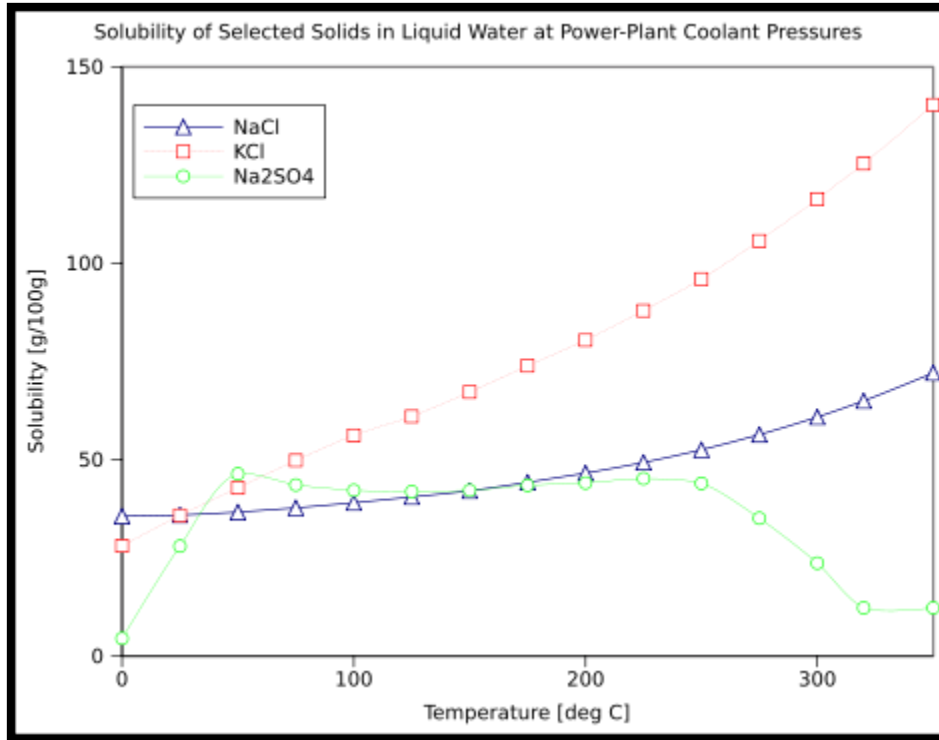
وهناك مصطلح يُسمى ال solubility limit وهو أكثر تركيز للملح في المياه والذي بعدها يتسبب بسبب حدوث حالة فوق التشبع super saturation ويتحكم في ال solubility limit درجة الحرارة ... والمراجع العلمية بها جداول عن قيمها ... تذكر لك نوع الملح وال solubility limit الخاص به عند أنواع مختلفة من الحرارة ... لو زاد تركيزه عن كذا في هذه الحرارة فإنه يتسبب ... ومن خلالها ومن تحليل مياه التبريد وقياس درجة الحرارة نستطيع التنبؤ بإمكانية حدوث ترسبات ملحية أم لا.

2- درجة حرارة المياه:

كلما زادت درجة الحرارة زادت ذوبانية بعض الأملاح (علاقة طردية) وسُميت بالذوبانية العادية أو المباشرة Direct or normal solubility ... وقلت ذوبانية (أو زيادة) ترسب الأملاح الأخرى!

تزيد ذوبانية الأملاح مع زيادة الحرارة نظراً لأن حركة الجزيئات تزيد وتندمج مع جزيئات المذيب (الماء) بصورة أكبر وبالتالي فرصة تكون الرواسب الملحية تقل.

انظروا الرسم البياني التالي ... تجدوا أن ذوبانية ملح كلوريد الصوديوم وكلوريد الكالسيوم وكبريتات الصوديوم تزيد مع زيادة درجة الحرارة (وبالطبع يزيد تركيزها في المياه حتي أنها قد تصل لمرحلة التشبع Saturation).



وتقل ذوبانية أملاح أخرى مع زيادة الحرارة وسُميت بالذوبانية العكسية Inverse solubility ونخص بالذكر هنا الأخوين الكريمين أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم المسببان للعسر فهما عكس الأملاح الأخرى التي يزيد ذوبانها مع ارتفاع الحرارة ... ولذلك أهم نقطة نخاف منها في تجمع القشور هي منطقة المبادل الحراري heat exchanger حيث ترتفع درجة حرارة المياه ... وصاحب المصنع دائماً يهتم بالمبادل الحراري أكثر من برج التبريد ... لأن أى مشكلة بالمبادل معناها توقف المصنع ... معناها توقف الإنتاج ... معناها خسارة مادية ... أما برج التبريد فيمكن عمل بديل له (برجين بدلاً من برج واحد مثلاً خاصة مع المصانع الكبيرة) ... ودائماً تتكون القشور في أول نقطة التقاء المياه بالمعدة أو المنتج الساخن ويتم إضافة الأنتي سكيل في هذه المنطقة ... كما أنه تتكون القشور أيضاً في بداية دخول البرج (في أعلى نقطة).

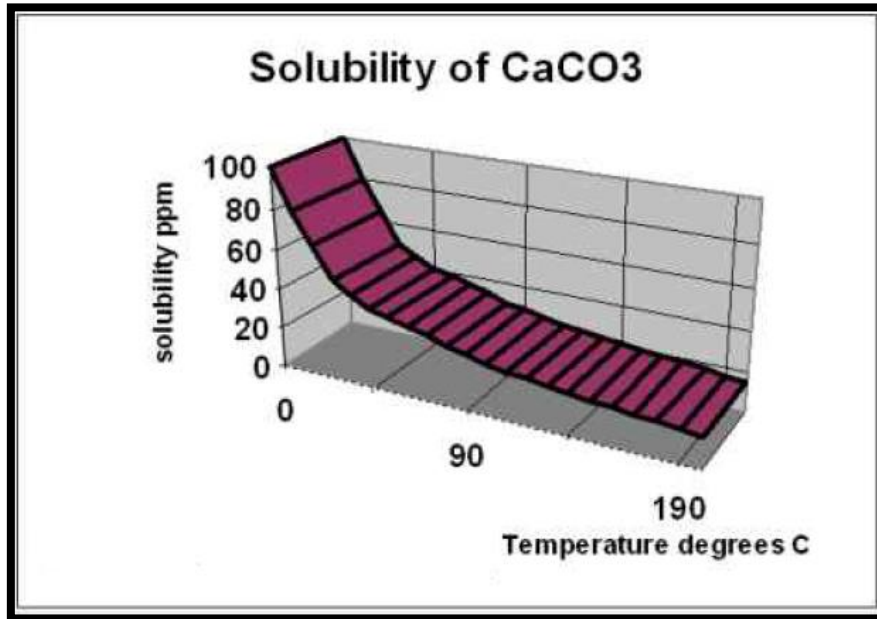
وما يحدث هو أن أملاح بيكربونات الكالسيوم أو المغنيسيوم اللذان يكونان على هيئة بيكربونات في المعتاد ... يتصاعد منها الـ CO₂ نتيجة للحرارة والضغط العادية ... وتترسب كربونات الكالسيوم على السطح كما يلي:



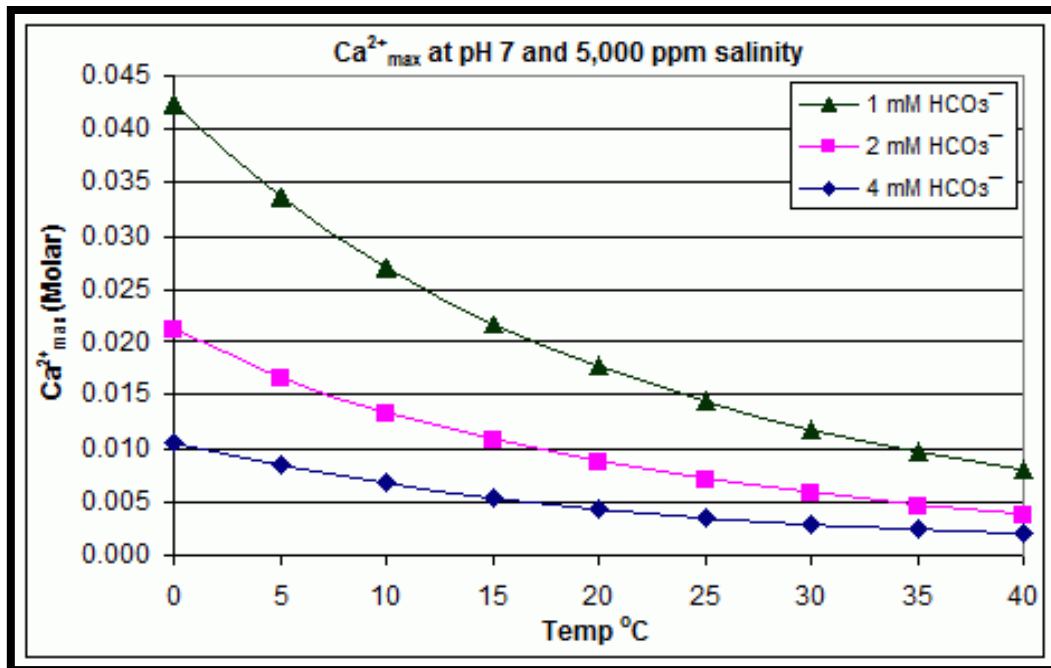
نفس الأمر مع بيكربونات الماغنسيوم:



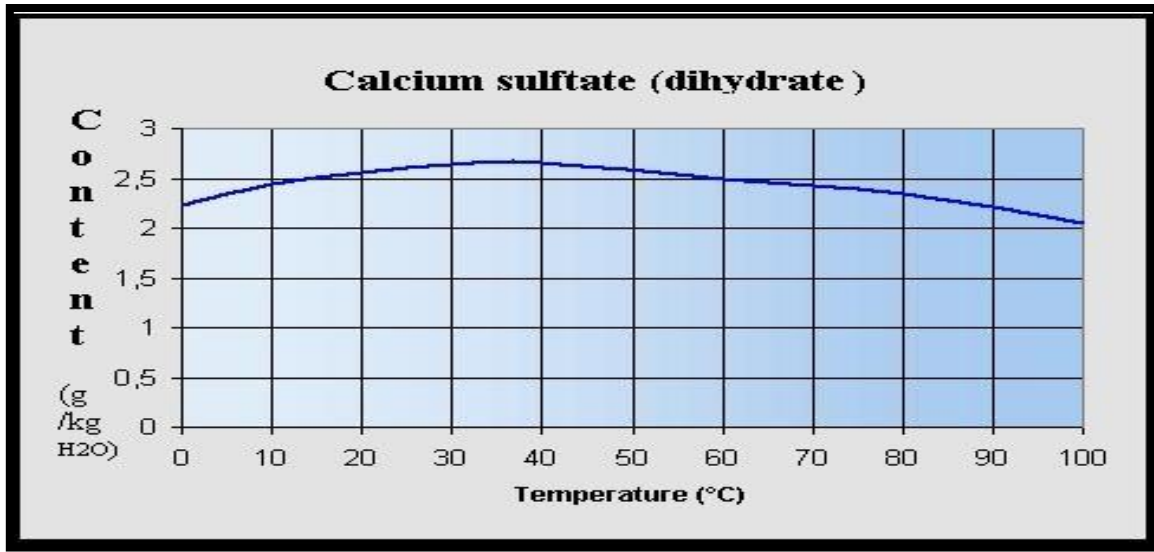
الرسم البياني التالي يبين انخفاض ذوبانية كربونات الكالسيوم مع زيادة درجة الحرارة:



انظر الرسم التالي يوضح انخفاض نسبة الكالسيوم في المياه مع زيادة درجة الحرارة نتيجة لترسبه مع أخذ عينات من تركيزات مختلفة من أملاح البيكربونات:



كبريتات الكالسيوم CaSO₄ (أو الجبس) هي الأخرى تزيد ذوبانيتها كلما زادت درجة الحرارة حتى تصل إلى حوالي 40 درجة مئوية وهي أقصى ذوبانية لها فتقل ذوبانيتها مرة أخرى بالتوازي مع كربونات الكالسيوم ... وتزيد احتمالية تكوينها للقشور إذا زادت نسبة الكبريتات في مياه التغذية بجانب إضافة حمض الكبريتيك لمعادلة القلوية.



لذا تتوقع مبادل درجة حرارة المياه فيه تصل إلى 40 درجة مئوية ومبادل آخر تصل درجة حرارة نفس المياه فيه إلى 50 أو 60 درجة مئوية ... أيهما عُرضة لترسبات قشور الكالسيوم والمغنيسيوم مع ثبات العوامل الأخرى؟

3- الأس الهيدروجيني pH:

كلما زادت الـ pH واتجهت ناحية القاعدية زادت إمكانية ترسب الأملاح (ككربونات الكالسيوم) (علاقة طردية) ... ومن الممكن حدوث ترسبات في مدى 7.5 – 8 أيضاً مع تأثير الحرارة والعوامل الأخرى. أيضاً كلما قلت القاعدية كلما قلت ذوبانية السيليكا (SiO₂) ... يعني عكس أملاح الكربونات.

4- المواد العالقة suspended solids:

كلما زادت المواد العالقة في المياه زادت إمكانية ترسب الأملاح حيث تعتبر أنوية تتجمع عليها جزيئات الأملاح.

5- زمن الاحتباس retention time:

المياه الأكثر ركوداً هي التي تكون عُرضة لتكون القشور الملحية ... يسمونها المناطق الميتة dead zone ... وقد تكون بسبب خطأ في الديزاين وينتج عنها ترسبات ملحية وربما نمو بكتيري وتآكل ومع الوقت تتحول إلى مياه داكنة اللون أو سوداء!

6- درجة حرارة سطح المبادل skin temperature of heat exchange: حيث تزيد الترسيبات الكلسية مع زيادة حرارة سطح المبادل الحراري.

7- معدل سريان المياه flow rate:

العامل الذي يتناسب عكسياً مع تكوين القشور هو سرعة سريان المياه Water flow velocity فبعض المناطق يكون فيها سرعة المياه غير قوية لا تكفي لعمل الـ sweeping للأملاح فيسهل ترسب الأملاح نظراً لأن الوزن الجزيئي أكبر من الماء (كربونات الكالسيوم CaCO₃ لها وزن جزيئي حوالي 100) ... ويتم إضافة الأنتيسكيل أيضاً في هذه المنطقة وهذا يتحقق مع خبرة المشغل.

ويستخدم بعض المصممين مواسير صغيرة في البرج للتوفير المالي ... فتكون كمية المياه المنقولة أقل مما يسبب زيادة في درجة الحرارة لأن معدل التبريد يقل فتحدث ترسبات الأملاح.

انظر الجدول التالي يلخص تأثير العوامل المختلفة على تكون ال Scales (ولاحظ أن تأثير درجة الحرارة قد أخذناها هنا على أملاح بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم) :

Factors		Scale formation
Concentration of dissolved salts	↑	↑
Water temperature	↑	↑
pH	↑	↑
Suspended solids	↑	↑
Retention time	↑	↑
Skin temperature of heat exchanger (heat flux)	↑	↑
Flow rate	↑	↓

المقصود بال Skim temperature of heat exchanger (heat flux) درجة حرارة سطح المبادل.

النقاش القادم سنتعرف على كيفية التنبؤ بإمكانية تكون قشور الأملاح من خلال معامل ال LSI وال RSI ... ونتعرف على بعض طرق حسابه.

تعقيب المهندس علاء محمد إبراهيم صباح:

طبعاً كما ذكرتم أن معامل التركيز ودرجة الحرارة من العوامل الرئيسية للترسبات ... لذلك المبادلات الحرارية عموماً يتم وضع حد أقصى لدرجات الحرارة بسبب أن أملاح الكربونات والكبريتات على سبيل المثال تتميز بخاصية Reverse Solubility ... والأملاح تترسب في درجات حرارة منخفضة إذا تجاوز معامل التركيز حد معين ... إن لم تخونني الذاكرة فإن معامل التركيز يكون في حدود 1.9 - 2 ضعف تركيز التغذية.

الدكتور خالد موسى:

في كثير من الدول تستخدم المياه الجوفية لغرض تدفئة المنازل وتبرز هذه المشكلة بشكل كبير.

(تستخدم لارتفاع درجة حرارتها في كثير من الأحيان).

المهندس سلمان الفارسي:

العوامل المؤثرة على الترسيب في الأبراج:-

1- ال pH و خاصة في حالة الإرتفاع تكون أكثر عرضة للترسيب.

2- سرعة المياه.

3- تركيز الأملاح المكونة للترسبات.

4- درجة الحرارة وخاصة في حالة الإرتفاع تكون أكثر عرضة للتآكل.

سؤال متدرب:

كيف يمكن التنبؤ بتكون القشور في أبراج التبريد؟

وماهي أعلى قيمة للأملاح التي يمكن أن تحدث القشور في برج التبريد؟

رد المُحاضر:

معامل لانجيرييه وريزنر سنتحدث عنهم بالتفصيل المناقشة القادمة بجانب وجود العوامل التي تسبب تكون القشور.

رد المهندس حسن البحر:

يتم أولاً تحديد ميل مياه التعويض للتآكل والترسيب وبعد ذلك نحدد برنامج المعالجة ولكن بدايةً الترسيب يحدث عن 500 جزء من المليون في مياه البرج بدون معالجة و أعلى من 1000 جزء من المليون في حالة وجود معالجة ... ويُفضل العمل عند 800 جزء في المليون.

C.f (Concentration factor) = 3.2 - 3.5

المهندس أحمد الربيعي الربيعي:

أهم العوامل المؤثرة في تكوين الترسبات على الأسطح الداخلية ذات التماس المباشر مع الماء المبرد هي نسبة (TDS , total hardness , TSS) ... بالإضافة إلى الغازات الذائبة والعوامل الأحيائية بشكل عام عند وصول هذه العوامل إلى نقطة تشبع عالية ... وبالتالي تترسب المواد الضارة وبدرجات حرارة من (10-50) منوي و أس هيدروجيني من 5 – 9 ... لذا يتم الاعتماد على قياس ال LSI كمؤشر على كمية ترسبات CaCO_3 على السطوح المعدنية أو مقياس RSI عند ظهور نتائج أقل من 6 فهو دليل تكون ترسبات أو أعلى من 6 فهو دليل تكون تآكل سطحي.

سؤال متدرب:

تكون ال scales أين بالضبط ؟ ... في ال cooling tower أم ال boiler؟

رد المُحاضر:

في الإثنين!

سؤال متدرب:

ما هو سبب انخفاض عسر مياه برج التبريد عن ppm100 بالرغم من أن العسر في مياه التعويض ppm120 ودورات التركيز 3 ... هل يمكن أنه هناك ترسيب للعسر بسبب استخدام مانع الترسيب؟

رد المُحاضر:

لو التحليل المعمل صحيح يجب النظر إلى تكون ترسبات ملحية!

ولو تم عمل تفوير فإنه يقلل الأملاح والعسر ولكن لا يمكن تقليلها عن مياه التغذية إلا إذا كان هناك سبب آخر يقللها وهو حدوث ترسبات في أماكن قد تخفى على المشغلين.

رد المهندس أيمن موسيليني عارف:

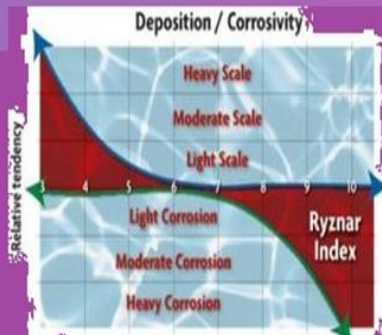
لو قمت بعمل خلط لمياه التعويض مياه RO مثلاً أو عندك سوفتنر ... ففي هذه الحالة من الممكن أن يكون العسر داخل البرج يكون أقل من العسر في المياه الخام ولو مصدر التعويض واحد فهناك خلل ما قد يكون ترسبات وهذه ستظهر على الدلتاتي على المبادلات الحرارية بسرعة وعلى كفاءة البرج من حيث الدلتا تي لأنه مستحيل يكون عدد دورات التركيز 3 مثلاً وتكون أملاح التعويض أعلى من الأملاح داخل البرج .



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

LSI CALCULATOR



12

LSI

&

RSI !!

النقاش الثاني عشر :

12- معامل LSI ومعامل RSI!

توجد معادلات للتنبؤ باحتمالية حدوث التآكل corrosion potential أو تكون القشور Scaling potential !
والعالم "لانجيلير" سنة 1938 وضع معادلة للتنبؤ بحدوث تآكل أو حدوث ترسبات ملحية وتحديد كربونات الكالسيوم ... وسماها باسمه ... دليل التشبع (أو دليل لانجيلير) IL (Langelier index) ... أو LSI وهو اختصار لـ Langelier Saturation index.
وجاء بعده العالم "ريزنر" ليضع مؤشر آخر للتنبؤ بميل المياه لإحداث ترسبات ملحية وسُمي على اسمه ... معامل ريزنر أو "مؤشر ريزنر" أو معامل التشبع Ryznar index أو RSI وهو اختصار لـ Ryznar Saturation index ويُسمى "Stability index" أو (RSI) "Ryzner stability index" ... وهو بديل وتطوير لمعادلة الـ LSI ويُفضل مع النظام المفتوح opened systems مثل أبراج التبريد وأنابيب نقل المياه عبر المدن ... بعكس الـ LSI يُستخدم في المعتاد مع الأنظمة المغلقة وتحت الضغط مثل أغشية الـ RO.
وبمساعدة الأستاذ لانجيلير والأستاذ ريزنر نستطيع التنبؤ بحدوث ترسبات ملحية أو تآكل ...
فكيف يتم حساب كل منهما؟؟؟ نطلع على دلالات القيم الخاصة بالمعاملين ثم نطلع على الحسابات ثم نذكر بعض الملاحظات ...

ما هي قيم الـ LSI والـ RSI؟

LSI	وصف الحالة وتقييم مياه التغذية
< 0.0	المياه لم تصل إلى مرحلة التشبع بكربونات الكالسيوم وتكون ذائبة في الماء ولا حاجة لإضافة مضادات الترسيب Antiscales
- 2.0 to - 0.5	التسبب في تآكل خطير serious corrosion
- 0.5 to 0	تآكل ضعيف مع عدم امكانية تكون قشور
0.0	المياه في حالة اتزان (بداية التشبع) ولا يوجد امكانية لتكون القشور
> 0.0	المياه في حالة فوق التشبع super saturation بالنسبة لكربونات الكالسيوم وبداية لامكانية تكون قشور من كربونات الكالسيوم (أو الـ Calcite) وكلما زادت القيمة عن الصفر زادت امكانية تكون القشور وتم التوصية بإضافة Antiscales بتركيزات أكبر
0.0 to < 0.5	تكون قشور ولكن بنسبة ضعيفة كما يحدث تآكل بنسبة ضعيفة أيضاً
0.5 to 2.5	امكانية تكون قشور بقوة مع عدم حدوث تآكل

أما قيم معامل ريزنر فتتراوح بين 4 - 10 وأفضل قيمة هي ما بين 6 - 6.7 حيث يكون التآكل فيها أقل ما يُمكن والترسبات أقل ما يُمكن ... يحدثان بتوازن وبأقل معدل ... انظر الجدول:

RSI	وصف الحالة وتقييم مياه التغذية
< 5.5	ترسبات قوية للأملح على الخطوط والمبادلات الحرارية
5.5 – 6.2	ترسبات للأملح على الخطوط والمبادلات الحرارية
6.2 – 6.8	استقرار مطلوب
6.8 – 8.5	حدوث تآكل بالخطوط والمبادلات الحرارية
> 8.5	حدوث تآكل شديد بالخطوط والمبادلات الحرارية

الدكتور أحمد أنور أحمد:

قيمة ال RZ فوق 7 يعنى احتمالية حدوث تآكل بسيط فى الدائرة ويكون فى الحدود المسموح بها.

تعقيب المحاضر:

نعم ... حتى 8.5 فما أعلى فتعرض المعادن للتآكل الشديد.

حساب معامل ال LSI ومعامل ال RSI:

يستخدم ال LSI مع المياه التى لها TDS أقل من العشرة آلاف 10000 مجم/ لتر ... مثل المياه متوسطة الملوحة (Brackish water) ... ولذا تصلح مع مياه التبريد المعتادة (إلا إذا تم استخدام مياه البحر ... فله مقياس آخر وهو

ال (S&DSI) وهو اختصار لـ Stiff & Davis stability index.

يتم حساب ال LSI بطرق مختلفة نوعاً ما تؤدي لنفس النتيجة وسنذكر هنا طريقتين:

الطريقة الأولى:

انظر إلى المعادلة التالية (وبعد تحليلات معملية للمياه):

$$LSI = pH_{(measured)} - pH_{sat}$$

$$RSI = 2pH_{sat} - pH$$

علماً بأن pH هو الرقم الهيدروجيني المعروف لمياه التغذية حيث يتم قياسه بال pH meter.

أما ال pH_{sat} فهو الرقم الهيدروجيني عند حالة التشبع بكاربونات الكالسيوم Saturation pH ويتم حسابه بطرق مختلفة من معادلات معينة بمعلومية نتائج قياسات البارامترات التالية:

1- تركيز الكالسيوم $CaCO_3$ as (Calcium hardness).

2- القلوية الكلية (M-Alkalinity) (أو أحياناً تركيز البيكربونات).

4- درجة الحرارة بالفهرنهايت أوالمئوية.

$$\text{pH}_{\text{sat}} = [9.3 + A + B] - [C + D]$$

حيث أن A,B,C,D ثوابت يمكن الحصول عليها من خلال الجداول التالية:

A			C		D	
Total Solid (ppm)			Calcium Hardness (ppm CaCO ₃)		M.O. Alkalinity (ppm CaCO ₃)	
<u>A</u>			<u>C</u>		<u>D</u>	
50 - 300	0.1		10-11	0.6	10-11	1.0
400 - 1000	0.2		12-13	0.7	12-13	1.1
B			14-17	0.8	14-17	1.2
			18-22	0.9	18-22	1.3
			23-27	1.0	23-27	1.4
			28-34	1.1	28-35	1.5
			35-43	1.2	36-44	1.6
Temperature			44-55	1.3	45-55	1.7
°F	°C	<u>B</u>	56-69	1.4	56-69	1.8
32-35	0-2	2.6	70-87	1.5	70-88	1.9
36-42	2-5	2.5	88-110	1.6	89-110	2.0
43-49	6-9	2.4	111-138	1.7	111-139	2.1
50-56	10-13	2.3	139-174	1.8	140-176	2.2
57-63	14-17	2.2	175-220	1.9	177-220	2.3
64-71	18-22	2.1	221-270	2.0	221-270	2.4
72-80	23-27	2.0	271-340	2.1	271-350	2.5
81-89	28-32	1.9	341-430	2.2	351-440	2.6
90-99	33-37	1.8	431-550	2.3	441-550	2.7
100-111	38-43	1.7	551-690	2.4	551-690	2.8
112-121	44-49	1.6	691-870	2.5	691-880	2.9
121-132	50-55	1.5	871-1000	2.6	881-1000	3.0
133-145	56-63	1.4				
146-161	64-72	1.3				
162-178	73-81	1.2				

- Obtain the value of A, B, C and D from above table
 - $pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$
 - Langelier (Saturation) Index = $pH - pH_s$ (LI)
 - Ryznar (Stability) Index = $2 pH_s - pH$ (RI)
- If RI is less than 6.0 Alkaline scale will precipitate
 - If RI more than 7.0 corrosion will proceed unhindered by scale formation
 - A RI between 6.0- 7.0 indicates that a mixture of scale and corrosion will be found in the plant.

T.D.S	T.D.S Index	Tempr.Of Water °C	Temp. Index	Calcium Hardness	Ca.H Index	Total Alk.	Alk. Index
50-350	0.1	0 - 2	2.6	10-11	0.6	10-11	1.0
400-1100	0.2	2 - 5	2.5	12-13	0.7	12-13	1.1
		6 - 9	2.4	14-17	0.8	14-17	1.2
		10 - 13	2.3	18-22	0.9	18-22	1.3
		14 - 17	2.2	23-27	1.0	23-27	1.4
		18 - 22	2.1	28-35	1.1	28-35	1.5
		23 - 27	2.0	36-44	1.2	36-44	1.6
		28 - 32	1.9	45-55	1.3	45-55	1.7
		33 - 37	1.8	56-69	1.4	56-69	1.8
		38 - 43	1.7	70-87	1.5	70-88	1.9
		44 - 49	1.6	88-110	1.6	89-110	2.0
		50 - 55	1.5	111-138	1.7	111-139	2.1
		56 - 63	1.4	139-174	1.8	140-176	2.2
		64 - 72	1.3	175-229	1.9	177-220	2.3
		73 - 81	1.2	230-279	2.0	221-270	2.4
				280-349	2.1	271-350	2.5
				350-439	2.2	351-440	2.6
				440-559	2.3	441-550	2.7
				560-699	2.4	551-690	2.8
				700-869	2.5	691-880	2.9
				870	2.6	881-1000	3.0
				1050	2.7		

وهذه طرق حساب قيم ال A,B,C,D بالمعادلات لو أحببت:

$$A = (\text{Log}_{10} [\text{TDS}] - 1)/10 = 0.15$$

(منها تستطيع حساب قيمة ال A للأملاح الأكبر من 1000 وحتى 10000 جزء في المليون).

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55 = 2.09 \text{ at } 25^\circ\text{C} \text{ and } 1.09 \text{ at } 82^\circ\text{C}$$

$$C = \text{Log}_{10} [\text{Ca}^{2+} \text{ as } \text{CaCO}_3] - 0.4 = 1.78$$

(Ca^{2+} as CaCO_3 is also called Calcium Hardness and is calculated as $=2.5(\text{Ca}^{2+})$)

$$D = \text{Log}_{10}[\text{alkalinity as } \text{CaCO}_3] = 1.53$$

وهذا مثال عملي حيث كانت المعطيات كالتالي:

$$pH_{\text{measured}} = 8.2, \text{ TDS} = 380 \text{ ppm}, \text{ Temperature} = 85^{\circ}\text{F} = 29.4^{\circ}\text{C},$$

$$\text{Calcium hardness as CaCO}_3 = 225 \text{ ppm},$$

$$\text{Total alkalinity as CaCO}_3 \text{ (M-Alkalinity)} = 250 \text{ ppm}$$

والإجابة:

$$\text{TDS} = 380 \text{ ppm} \rightarrow A = 0.2$$

$$\text{Temperature} = 29.4^{\circ}\text{C} \rightarrow B = 1.9$$

$$\text{Calcium hardness as CaCO}_3 = 225 \text{ ppm} \rightarrow C = 2.0$$

$$\text{Total alkalinity as CaCO}_3 \text{ (M-Alkalinity)} = 250 \text{ ppm} \rightarrow D = 2.4$$

بالتعويض في المعادلة:

$$pH_{\text{sat}} = [9.3 + A + B] - [C + D] = 9.3 + 0.2 + 1.9 - [2.0 + 2.4] = +7$$

$$LSI = pH_{\text{(measured)}} - pH_{\text{sat}} = 8.2 - 7.0 = +1.2$$

إلى ماذا ترمز القيمة +1.2 من خلال الجداول السابقة؟؟

وبالنسبة لمعامل ريزنر RSI يتم حسابه كالتالي من المثال السابق:

$$RSI = 2pH_{\text{sat}} - pH = 14 - 8.2 = +5.8$$

إلى ماذا ترمز القيمة +5.8 من خلال الجداول السابقة؟؟

ملاحظات هامة:

*معامل LSI: في المياه Bulk أقل من الـ LSI على السطح الخارجي للمعدن Skin! ولذلك يتم حساب الـ LSI في الحالتان.

*الأفضل مع أبراج التبريد أن يكون عند "الصففر" ... وفي أساسيات المعالجة لو خُبرنا بين أهون الضررين فإننا نفضل القشور عن التآكل لأن التآكل يسبب نخر في جسم المعدن أما القشور فمن الممكن معالجتها بالغسيل الكيماوي كما أن يضيف طبقات تحمي من التآكل.

*أقصى رقم يجب أن لا أصل إليه هو 2.8 في الـ LSI وبالطبع يتم استخدام Anti scales.

*أحيانا تزيد الـ LSI في بعض فصول السنة كالسدة الشتوية التي تحدث في مصروصل إلى هذا الرقم وهو 8.2 ويتوقف الإنتاج أو يتم تخفيضه وهو القرار السليم ... وقد نلجأ لبدائل مثل شراء مياه من شركات مجاورة توفر المياه الجيدة حتى لا يتم توقف الانتاج لعدة شهور والا فالبديل دمار المعدات بتكون القشور الملحية.

*معامل الـ LSI ليس له علاقة بالكلورايد أو الأمونيا أو السيليكا أو الكبريتات ... إنما هو مؤشر للترسبات الكلسية كما قلنا.

الطريقة الثانية:

انظر إلى المعادلة التالية:

$$LSI = (pH) + (Temperature \text{ } ^\circ F) + (Calcium Hardness \text{ ppm}) + [(Total Alkalinity \text{ ppm}) - (CYA \text{ correction factor @ current pH})] - (TDS \text{ ppm})$$

كل ماسبق معلوم ماعدا ال CYA correction value وهو يرمز إلى حمض السينيوريك Cyanuric الذي يستخدم كمثبت للكلورين المضاف حيث يؤدي لاستقراره وحمايته من ضوء الشمس ... وعادة ما يستخدم في حمامات السباحة. ومن الجدول التالي نستطيع معرفة القيم السابقة بجانب نتائج التحليل المعمل:

Equivalent Factors - Langelier Saturation Index (LSI)									
Temperature (°F)	Temperature Factor	Calcium Hardness (PPM)	Calcium Hardness Factor	Alkalinity (PPM)	Alkalinity Factor	Cyanuric Acid (if present)	Cyanurate Correction Factor	Total Dissolved Solids	TDS Factor
32	0.0	5	0.3	5	0.7	pH	Factor	< 1000 ppm	12.10
37	0.1	25	1.0	25	1.4	7.0	0.23	1000 ppm	12.19
46	0.2	50	1.3	50	1.7	7.2	0.27	2000 ppm	12.29
53	0.3	75	1.5	75	1.9	7.4	0.31	3000 ppm	12.35
60	0.4	100	1.6	100	2.0	7.6	0.33	4000 ppm	12.41
66	0.5	150	1.8	150	2.2	7.8	0.35		
76	0.6	200	1.9	200	2.3	8.0	0.36		
84	0.7	300	2.1	300	2.5	Note: Only use if CYA is used in your pool. Only applies to >7.0pH. If so, select correction factor based on pool pH.		Note: most calculators assume 12.1 for under 1000ppm, or 12.2 for anything over 1000.	
94	0.8	400	2.2	500	2.6				
105	0.9	800	2.5	800	2.9				

وإليك مثال لمياه حمام سباحة:

$$pH = (7.4)$$

$$Temperature = 84^\circ F (0.7)$$

$$Calcium hardness: 300 (2.1)$$

$$Alkalinity = 100 (2.0)$$

$$Cyanuric acid = 100 (pH 7.4 = 0.31)$$

$$TDS < 1000 (12.1)$$

$$LSI = [(7.4) + (0.7) + (2.1) + [(2.0) - (0.31)] - (12.1)$$

$$= [(10.2) + (1.69)] - (12.1) = -0.21$$

ولذلك نجد أن النتيجة تقترب من الصفر ولكنها في جانب التآكل ... ويمكن مثلاً زيادة تركيز عسر الكالسيوم من 300 إلى 400 جزء في المليون وهكذا حتى تقترب من الصفر.

في بعض الحالات يكون من المرغوب فيه وجود المواد المسببة لتكوين القشور حيث أنها تقوم مقام المواد المانعة للتآكل.

ومن أمثلة ذلك أيون الكالسيوم والبيكربونات يعتبر مانع كاثودي.

تعليق المهندس أحمد محمد محمود:

اتزان المياه كيميائياً أهم العوامل التي تساعد علي عدم التعرض سواء لتكون ترسبات أو حدوث تآكل في خطوط دوائر التبريد وأيضاً الظروف الفيزيائية مثل درجة الحرارة وسرعة المياه خلالها تؤثر أيضاً.

سؤال متدرب:

لو كانت ال LSI قريبة من الصفر ومياه ال makeup نظيفة وأملحها ليست مرتفعة ... هل يجب استخدام مضادات التآكل والتكلس لبرج التبريد؟

رد المحاضر:

تابع المناقشات القادمة عن مقاومة التآكل ... ولكن مبدئياً ونظرياً نقول لا نستخدم هذه الكيماويات ولكن عملياً لا يمكن أن نقرر ذلك إلا بناء على عدة أمور وعدة دراسة لل Case study للبرج ... قد يكون النحاس هو المستخدم والذي ليس له علاقة بال LSI أو أن كبريتات الكالسيوم هي المتوافرة وليس لها علاقة بقيمة ال LSI وقد تكون المياه الخام متغيرة وقد نستخدم دورات تركيز تصل بالأملاح لحد التشبع saturation وهكذا ... وشركة المعالجة إن باعت لك كيماويات بدون دراسة البرج فأعلم أن الموضوع تجارياً وليس علمياً.

سؤال متدرب:

هل يجب عمل cleaning & passivation لبرج التبريد وأنابيب المياه لمنع التآكل أم التحكم بقيمة ال LSI يكفي؟

رد المحاضر:

الواقع العملي يقول أن قيمة ال LSI أو RSI حتى لو كانتا ممتازة فلا يوجد شيء اسمه Zero corrosion أو zero scale ... فلا بد من المعالجة ولكن لكل مقام مقال ولكل دائرة تبريد حالتها الخاصة كما سنذكر بعد ذلك.

وتوجد مواقع على النت لحساب ال RSI ... انظر الرابط الخاص بLenntech:

<https://www.lenntech.com/calculators/ryznar/index/ryznar.htm>

:



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

13

تعريف التآكل
وآلية حدوثه!!



النقاش الثالث عشر:-**13- تعريف التآكل وآلية حدوثه!**

مازلنا نعيش وسط المشاكل التي تتعرض لها دوائر التبريد ... ارتفاع الـ pH ... ارتفاع الأملاح والقلوية وتكون القشور الملحية Scales ... وهنا في هذا النقاش والنقاش القادم وبعد القادم نتعرض لمشكلة جديدة وهي مشكلة التآكل Corrosion (أو البارومة بالعامية).

بدون برنامج معالجة قد يشاهد العاملون تآكل في أجزاء البرج وتآكل الحوامل وقد ينتهي المشهد بسقوط محتويات البرج داخل الحوض في القاع!

التآكل - أيها الزملاء - هو فقد تدريجي للمعدن!

وعندما نستدعي الكيمياء نقول أن التآكل ليس تفاعلاً كيميائياً واحداً ... بل في الغالب سلسلة من تفاعلات كيميائية أو لنقل تفاعلات كهروكيميائية تحدث بين المعدن والبيئة المحيطة به سواء أكانت غاز أو سائل يدخل فيها أيضاً العامل الميكانيكي كما سنرى ... يؤدي ذلك إلى رجوع المعدن إلى حالة التأكسد الطبيعية التي كان عليها (الصدأ rust يطلق على أوكسيدات المعدن) ... بمعنى آخر يحدث ضعف لقطعة المعدن أو الماسورة التي تتكون من هذا المعدن ... وهو ما يُسمى بالـ Corrosion fatigue أو ضعف المعدن نتيجة التآكل ويُفقد مع الوقت ... والتآكل هو علم كامل تكلم فيه آلاف العلماء وأقيمت عشرات الآلاف من الأبحاث العلمية حوله ... وأنواعه تصل إلى سبعة عشر نوعاً أو تزيد ... وهنا فقط نختصر موضوع التآكل في بعض النقاط والأساسيات وعلاقته بأنظمة التبريد لنعطي صورة عامة عن فكرة مقاومة هذه الظاهرة في النهاية ...

ما هو تأثير التآكل؟

1- تدمير برج التبريد وغيره من أجزاء المنظومة.

2- تكوين رواسب deposits الناتجة من التآكل نفسه في المبادلات الحرارية حيث يخرج مع الماء من برج التبريد إليها في الدائرة المغلقة.

3- الرواسب التي تترسب في هذه المبادلات تقلل كفاءة الانتقال الحراري heat transfer.

4- التسبب في فقد في سُمْك المعدن يؤدي لحدوث تسريب من المعدة leakage فتنتقل المياه إلى المنتج المُراد تبريده أو ينتقل هو إلى المياه في منظومة التبريد.

5- تلوث المياه.

6- زيادة في تكرار الصيانات وتنظيف المعدة.

7- تغيير المعدة في فترة أقل (بعد اقتصادي).

8- الإضطرار إلى عمل shutdown مفاجيء للمصنع بدون تحضير (unscheduled).

كيف يحدث التآكل الكيميائي؟

أهل الكيمياء يقولون أنه لكي يحدث التآكل فلا بد من وجود ثلاث أطراف ... المعدن ... المياه ... الأوكسجين الذائب في المياه أو المركبات الأخرى التي لها صفات تأكلية!

وسنأخذ أمثلة مختصرة جداً عن آلية حدوث التآكل والعوامل المؤثرة في التآكل ...

آلية حدوث التآكل:

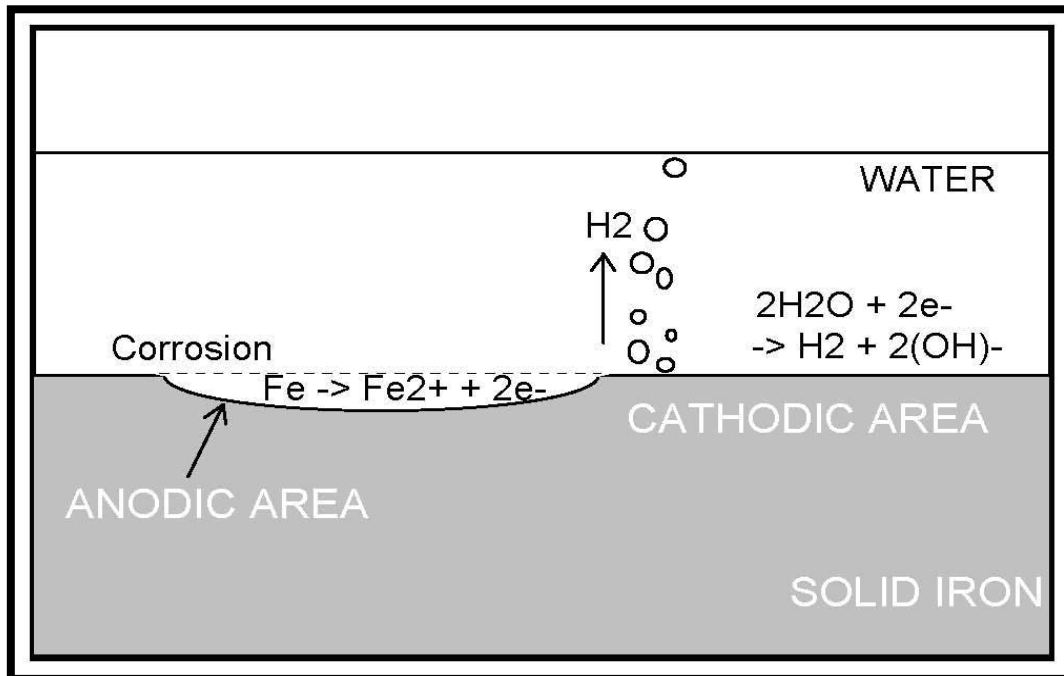
هناك أربع مراحل عامة يحدث خلالها تآكل المعدن ... وننبه أن التفاعلات التي تحدث يكون بها انتقال إلكترونات لذا نقول أن التفاعلات كهروكيميائية ... والمعدن قد يكون حديد أو نحاس أو ألومنيوم ... إلخ ولنأخذ الحديد الصلب كمثال بسيط للتآكل حيث يكون على هيئة حديد متعادل Fe^0 ...

(وليتحملنا القراء ... فلا بد من معرفة - ولو مختصرة جداً - عن آلية حدوث التآكل حتى نعرف كيف نمنعها).

نتابع الآن المراحل ونحن ننظر إلى الصور التوضيحية:

المرحلة الأولى:

الحديد الصلب على هيئة حديد متعادل Fe^0 يحدث له أكسدة خاصة المتواجد على السطح الملاصق للمياه (Interface) فيفقد إلكترونات ويذوب في المياه (يعنى ينتقل من السطح interface إلى الجسد المائي أو الوسط المائي (Bulk) ... يتكون بذلك قطب أنود ويحدث عنده التفاعل التالي:



والتفاعل العام هو:



حيث يشير حرف M إلى الـ metal ... والحرف n يُشير إلى عدد الإلكترونات المتحررة من سطح المعدن ... عملية فقد الإلكترون من المعدن تُسمى Charge transfer ... وعملية ذوبان المعدن في المياه تُسمى bulk transfer أو mass transfer ... وقد تترسب أيونات المعدن الذائب على السطح مرة أخرى ... ويأخذ نفس المسمى: bulk transfer أو mass transfer.

المرحلة الثانية:

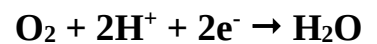
الألكترونات الناتجة من المرحلة السابقة تشاغب وتنتقل خلال المعدن نفسه إلى منطقة أخرى. المنطقة في المرحلة الأولى هي منطقة الأنود! والمنطقة التي تتجه إليها الألكترونات هي الكاثود كما يظهر في الصورة السابقة ... والمياه التي ذاب فيها الحديد هي السائل الألكتروليتي (Electrolyte solution) وبهذا فقد تكونت خلية إلكتروليتية!

المرحلة الثالثة:

عند الكاثود تحدث تفاعلات تعتمد على طبيعة الوسط المائي:

In acidic medium: في الوسط الحامضي

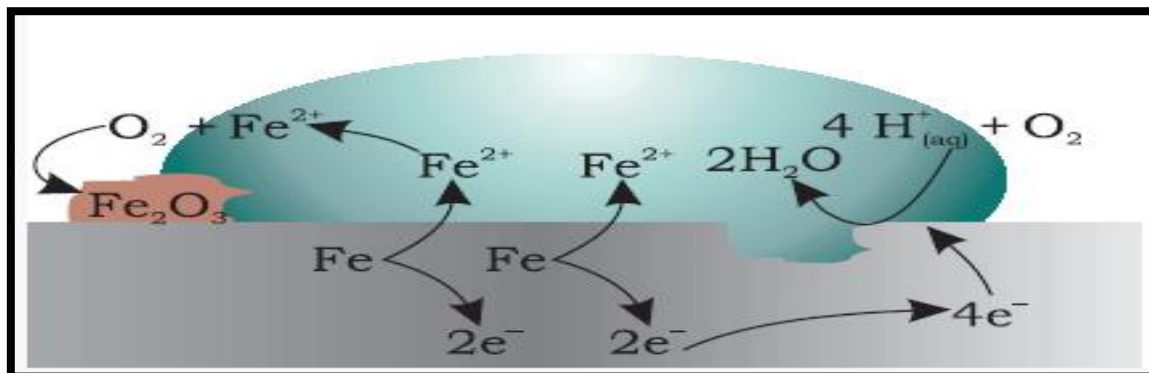
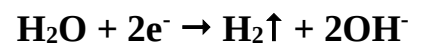
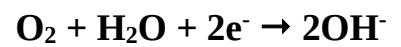
تنتقل أيونات الهيدروجين الموجبة من المياه (Bulk) إلى سطح المعدن (Interface) ويحدث التفاعل التالي في وجود الأوكسجين الذائب:

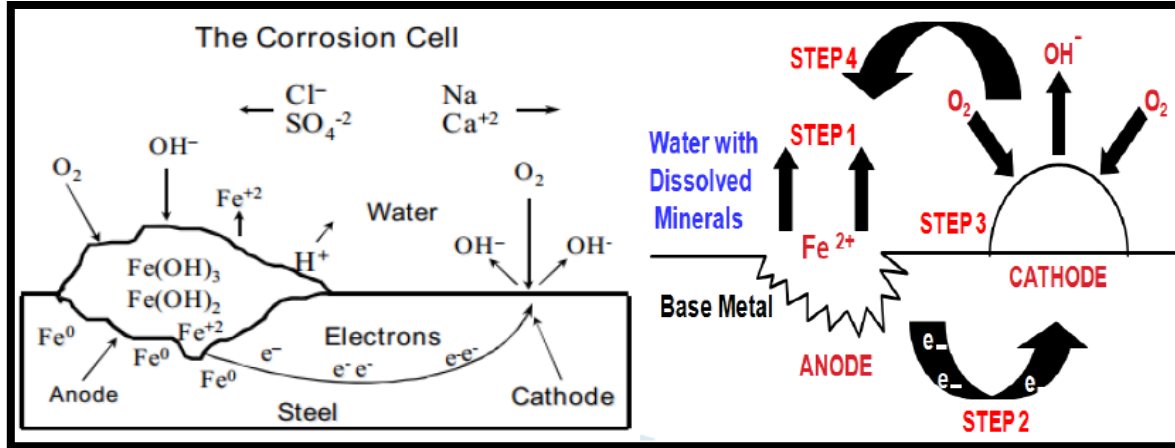


ونجد بذلك أن الألكترونات القادمة من الأنود قد استهلكت في تكون الماء أو الهيدروجين.

In alkaline medium: في الوسط القاعدي

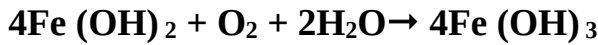
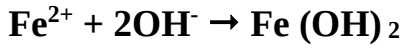
تنتقل ذرات الأوكسجين الذائبة من المياه (Bulk) إلى سطح المعدن (Interface) لتتفاعل مع الألكترونات القادمة من الأنود لتكوين أيون الهيدروكسيد ... أو أن الألكترونات تتفاعل مع المياه لتكوين أيون الهيدروكسيد:



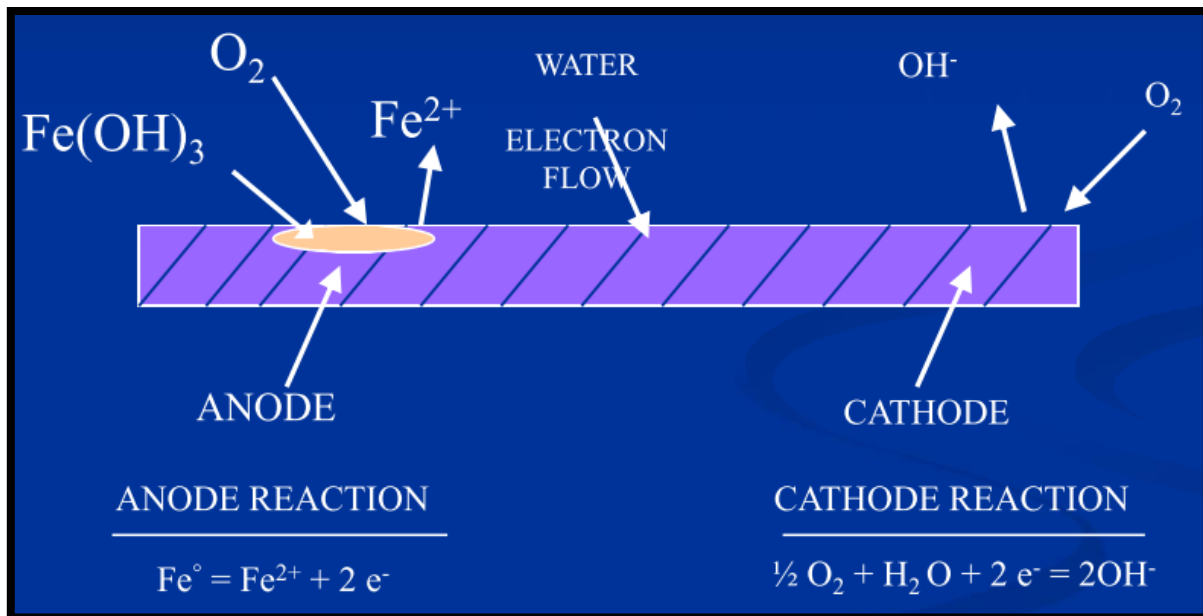


المرحلة الرابعة:

يتكون الصدأ rust وهو عبارة عن هيدروكسيد الحديد Fe(OH)₃ يتكون في الطبقة الخارجية للمعدن Outer layer كالتالي:



وهكذا تكونت خلية التآكل corrosion cell (أنود وكاثود) ... وغالباً ما يترتب عليه فقد تدريجي للمعدن ... كما يعقبه ترسبات الصدأ deposition وهي نواتج التآكل. انظر الصورة التوضيحية التالية:



سؤال متدرب:

هل يوجد فرق بين الأكسدة والعامل المؤكسد.

رد المهندس أيمن موسىليني عارف:

التأكسد هو عملية فقد الإلكترونات ... والعنصر الذي يفقد الإلكترونات يسمى عاملاً مختزلاً.

أي أنه السبب في حدوث الإختزال ... العامل المؤكسد هو المادة التي تكتسب الإلكترونات.
انظر الصورة التالية ... هي لنواتج التآكل مترسبة على مواسير المبادل الحراري:



من خلال ما سبق ... لو استطعنا منع آلية التآكل في أحد مراحلها أو كلها فإننا نستطيع منع التآكل ... قد نقوم بهذا المنع في منطقة الأنود ... نسميه **Anodic inhibition** كأن نمنع الإلكترونات أن تمشي في المعدن فلا تنتقل إلى الكاثود كأن نضيف معدن أو أيون يحدث له تآكل قبل المعدن ... ونسميها الأقطاب المضحية (وأشهرها الكالسيوم والمغنيسيوم والزنك أو أنواع من البوليمر كما سنشرح بعد ذلك) ... أو نقوم بهذا المنع في منطقة الكاثود ... فنسميه **Cathodic inhibition** فنمنع الأوكسجين الذائب في الBulk أن يصل إلى الإلكترونات في المعدن عن طريق إضافة مادة تغطي سطح المعدن عند الكاثود (تعمل "فرشة" على السطح!) (مثل الفوسفات أو السيليكات أو الموليبيدات أو أنواع أخرى من البوليمر) وتسمى طبقة سلبية **passive layer** والعملية تسمى **passivation** وتخضع لنظام خاص عند القيام بها عن طريق معطيات وإدخال المعطيات في حسابات أو برامج سوفت وير.

وقد نقوم بمنع التآكل بعمل خلط بين ال**Anodic inhibition** وال**Cathodic inhibition** ...

كل ذلك سنشرحه عندما ندخل في حل المشاكل التي تتعرض لها دوائر التبريد.

تعليق المهندس علاء محمد إبراهيم صباح:

المبادلات الحرارية يتم تصنيعها من خامات مقاومة للتآكل ... وتكمن خطورة نسبة الكلور في أنه يسبب التآكل حتى للإستانلس لو زاد تركيزه ... أيضا من أشكال التآكل ... النحر وهذا يتم التغلب عليه بوضع حد أقصى لمعدل السريان.

سؤال متدرب:

هل التآكل يحدث بآلية الكاثود والأنود على سطح نفس المعدن ... يعني أنبوب مكون من معدن واحد فقط؟ ماذا لو كان الأنبوب مثلاً يتكون من خليط من المعادن ... ما هي آلية حدوث التآكل؟

رد المُحاضر:

لو فيه عدة معادن ملتصقة ببعضها سيحولنا بجانب التآكل العادي إلى نوع اسمه تآكل جلفاني Galvanic corrosion سنتحدث عنه في النقاش بعد القادم فتابعنا

المهندس أحمد محمد محمود:

Effect of Water Quality Parameters on Cooling System Component Materials	
Type of Material	Effect of Water Quality Parameters
Galvanized Iron (Cu and Zn coating)	Susceptible to corrosion (white rust) from: (a) high dissolved solids, particularly chlorides and heavy metals, or (b) pH levels below 6.5 or above 8.5.
Stainless Steel	Susceptible to corrosion, usually at lower rates than for mild steel. Corrosion can be due to high dissolved solids —primarily chlorides that can cause stress corrosion cracking (SCC) or severe pitting. Chloride levels above 200 mg/l in contact with 304-SS are of concern when deposit-forming conditions exist. (Chlorides concentrate under deposits.) However, 1,000 mg/l chloride levels do not cause 304-SS corrosion if surfaces are free of deposits. The 316-SS alloy can tolerate chloride levels of 5,000 mg/l chloride levels when deposit-forming conditions exist, and 30,000 mg/l when surfaces are free of deposits. Biomass deposits, particularly from sulfate-reducing bacteria and iron-depositing bacteria, can cause rapid pitting of stainless steel. Chemical water treatment can effectively minimize or eliminate this potential. Maintaining a positive oxidant level will benefit the integrity of the protective oxide film on stainless steels and will reduce biomass accumulation. The water treatment program can also prevent deposits and help keep stainless steel surfaces clean. Nitrates are known to reduce stainless steel corrosion.
Mild Steel	Susceptible to corrosion from: (a) high total dissolved solids, usually chlorides, (b) any deposit-forming constituents such as suspended solids, biomass, scale, and (c) heavy metals, such as copper. Effective water treatment and operational changes can eliminate or minimize corrosion caused by these conditions. Operational changes include increased flow rates and periodic flushing of heat exchangers. Ammonia does not contribute directly to steel corrosion (but rather indirectly through increases to biomass).
Copper alloys including Admiralty Brass and Muntz metal	Susceptible to corrosion from: (a) ammonia and (b) high dissolved solids, usually chlorides and deposit-forming constituents such as suspended solids. Ammonia above 0.5 mg/l as NH_3 can cause cracking of brass (Admiralty), severe corrosion of copper alloys, and contributes to biomass that can cause corrosion to copper alloy under deposits. The cracking of brass can be rapid and severe. Even chloramines (chlorine plus ammonia) can cause cracking. The use of copper corrosion inhibitors such as TTA (Tolytriazole or BZT (Benzotriazole) reduce but do not totally eliminate cracking. The use of BBT (Butylbenzotriazole) is still more effective, but does not totally eliminate cracking. Copper-nickel alloys (90/10 and 70/30) are resistant to cracking. Water treatments can minimize or eliminate other contributors to copper alloy corrosion.
Wood	Needs to be protected from decay or chemical attack.
Plastics	Should be corrosion-resistant, but needs to be kept clean and free of deposits to prevent clogging, etc. Plastic film in particular needs to be kept clean and free of biomass buildup.

تعليق المهندس حسن محمد حسن عبد الله:

لي تحفظ على تعبير منع التآكل حيث لا يمكن منع التآكل نهائياً وحتى لا يلتبس الأمر علي بعض الزملاء من البداية فيمكن استبدال كلمة منع بتعطيل أو تقليل أو الحد من معدل حدوث التآكل وشكراً.

تعقيب المُحاضر:

القاعدة أنه لا يوجد شيء اسمه zero corrosion وهذه أول كلمة سنبدأ بها في بروتوكول المعالجة.

وهذه باقية من موانع التآكل بالجداول التالية:

Corrosion Inhibitors	Advantages	Limitations	Type / Dosage concentration/pH range
Anodic Inhibitors			
Orthophosphates	Applicable but no specific advantage.	Well control of the system is required to control sufficient dissolved oxygen (DO) in water for oxide film formation. Deposits of iron phosphate can form anodes if corrosion starts and encourages under deposit corrosion. Formation of orthophosphate leads to precipitation of calcium phosphates.	Type – Anodic Dosage [mg/L] 5-20 (as PO ₄) Applicable pH range 6.5-8.5 Calcium phosphate scale inhibitors are always included in phosphate based corrosion inhibitor.
Molybdate	Less toxic compare with chromate. Can prevent pitting corrosion and under deposit corrosion crack.	Expensive Sensitive to chlorine and sulphate.	Type - Anodic Dosage [mg/L] 50-150 (as MoO ₄) Applicable pH range 7.0-8.5
Nitrite	Applicable but no specific advantage.	Subject to biological degradation - this leads to the loss of inhibitor and bio-fouling problems. Require careful control in open recirculating system as it can be easily oxidized to nitrate in open system.	Type - Anodic Dosage [mg/L] 250-1000 Applicable pH range

Cathodic Inhibitors			
Polyphosphate (Molecular dehydrated, condensed polymeric, poly and metaphosphates)	Water quality insensitive.	Certain bacterial enzymes increase the reversion rate of polyphosphates. Formation of orthophosphate leads to precipitation of calcium	Type - Cathodic Dosage [mg/L] 10 - 20 Applicable pH range 6.5 – 8.5 Calcium phosphate scale inhibitors are always included in phosphate based corrosion inhibitor.
Organic Phosphorous Compounds (Phosphonates)	Water quality insensitive. Phosphonates do not revert to orthophosphate, thus no calcium orthophosphate deposition.	No specific limitation	Type - Cathodic Dosage [mg/L] 10 - 20 Applicable pH range 7 – 9 Require either calcium or metal ion, such as zinc, for effective corrosion inhibition.
Zinc Salts	Applicable but no specific advantage.	Above pH 7.5, zinc hydroxide precipitates from solution as hydroxides or as various organic zinc salts.	Type - Cathodic Dosage [mg/L] 0.5 -2 Applicable pH range 6.5 – 7.5
The pH range can be extended upward by including stabilizer to prevent zinc precipitation.			

Mixed Inhibitors			
Zinc Phosphonate Dosage [mg/L] 1 – 5 (as Zn)	A more tenacious and protective film can be formed by adding zinc. Reduction in the dosage concentration when comparing with the usage of phosphonate only.	Hardness Sensitive Reduced rate of film formation	Type - Mixed Dosage [mg/L] 1 – 5 (as Zn) Applicable pH range 7 – 8.5
Zinc Phosphonate Dosage [mg/L] 7- 20 (as PO ₄)	A more tenacious and protective film can be formed by adding zinc. Reduction in the dosage concentration when comparing with the usage of phosphonate only.	Biological nutrient Reduced rate of film formation	Type - Mixed Dosage [mg/L] 7- 20 (as PO ₄) Applicable pH range 6 – 7.5
Molybdate / Phosphonate	Improved corrosion protection can be achieved at lower concentrations of molybdate when blended with organic inhibitors.	Film formation ability remains relatively weak, and the level of protection is marginal in corrosive environments.	Type - Mixed Dosage [mg/L] 5 –20 (MoO ₄) Applicable pH range 7 – 8.5



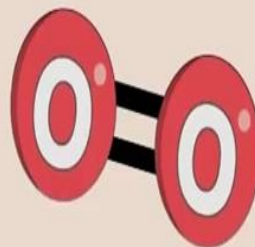
WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

CORROSION



rusting



14

العوامل
المؤثرة في
تآكل المعادن
ومؤشرات
حدوثه!!

النقاش الرابع عشر :-**14- العوامل المؤثرة في تآكل المعادن ومؤشرات حدوثه!**

جلسنا سوياً في نقاش طويل نتحدث عن التآكل وآلية حدوثه و ... و ... في هذا النقاش سنتحدث عن أمرين هما العوامل المؤثرة على تآكل المعادن ... ومؤشرات حدوث التآكل ... والنقاش القادم نختم بأنواع التآكل لندخل على مشكلة البايوفاولينج والفاولينج ثم نتحدث عن بروتوكولات المعالجة لهذه المشاكل المزعجة ... تابع التعليقات.

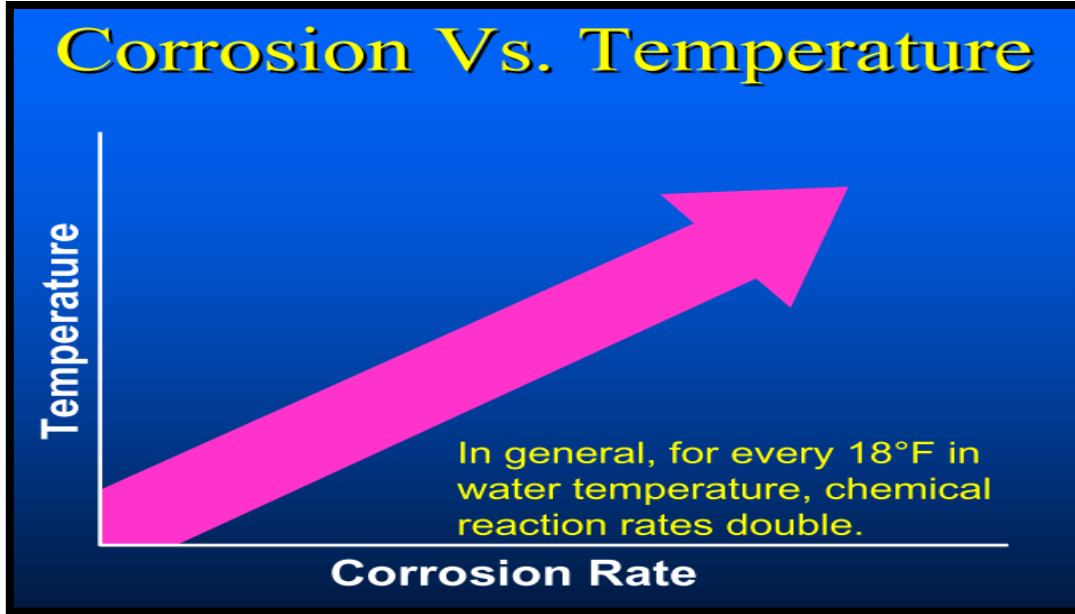
العوامل المؤثرة في تآكل المعادن:

تقريباً هي نفسها العوامل التي تؤثر في تكون القشور الملحية مع بعض الإستثناءات كما سنتحدث الآن ... ويمكننا اختصار هذه العوامل في الجدول التالي:

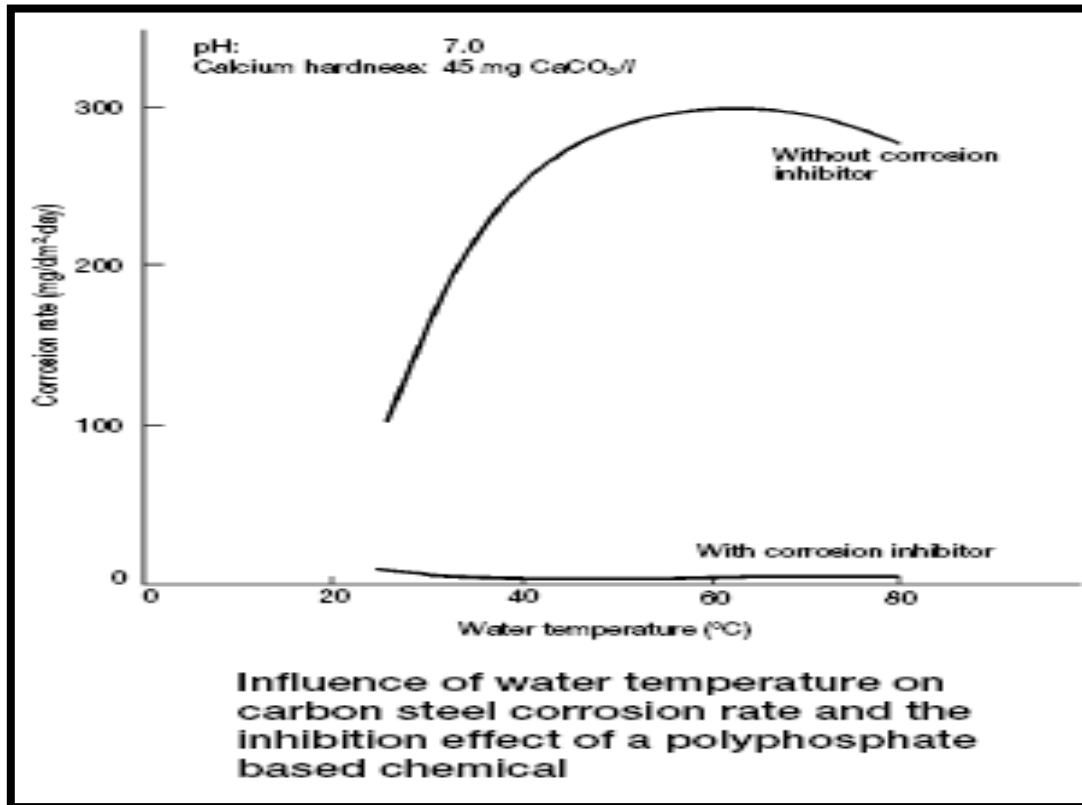
زيادة هذه العوامل التالية:	التآكل
1- الأس الهيدروجيني pH	⚡ يقل
2- الأملاح الذائبة الكلية TDS	⚡ يزيد
3- الكائنات الميكروبية	⚡ يزيد
4- درجة الحرارة	⚡ يزيد أو يقل
5- سرعة تدفق المياه	⚡ يزيد
6- تركيز الأوكسجين الذائب	⚡ يزيد

ملاحظات على التآكل والعوامل المؤثرة في التآكل:

- 1- في العموم ... كلما زادت الأملاح الكلية الذائبة TDS في المياه زادت التوصيلية الكهربائية وبالتالي زادت فرصة التآكل ... فضلاً عن زيادة الكلورايدات والكبريتات والنترات.
 - 2- في العموم نقول أنه كلما زادت درجة الحرارة 10 درجات زاد معدل التآكل إلى الضعف ... وفي الحقيقة أن درجة الحرارة لا نستطيع أن نقول أن بزيادتها يزيد التآكل أو بانخفاضها يقل التآكل ... ذلك لأن تكون القشور مع ارتفاع الحرارة خاصة القشور الكلسية يصنع طبقة عازلة على سطح المعدن فيقلل تواصل الأوكسجين مع المعدن فيقل التآكل ... فهو سلاح ذو حدين (وفي هذه الحالة نقوم بعمل غسيل كيميائي أولاً بحامض ليزيل القشور ثم نقوم بعمل passivation) ... كما أن ارتفاع درجة الحرارة يطرد الأوكسجين الذائب في المياه (خاصة بعد الوصول إلى 71 درجة مئوية ... فبعدها معدل الزيادة في التآكل ستكون غير ملحوظة).
- انظر الرسم التالي يوضح أنه بزيادة الحرارة يزيد معدل التآكل في العموم كما ذكرنا:



والشكل التالي يبين تأثير درجة الحرارة على تآكل الحديد ... يزيد في البداية ثم يبدأ يقل بعد 60 درجة مئوية مع ثبات الـ pH وعسر الكالسيوم:

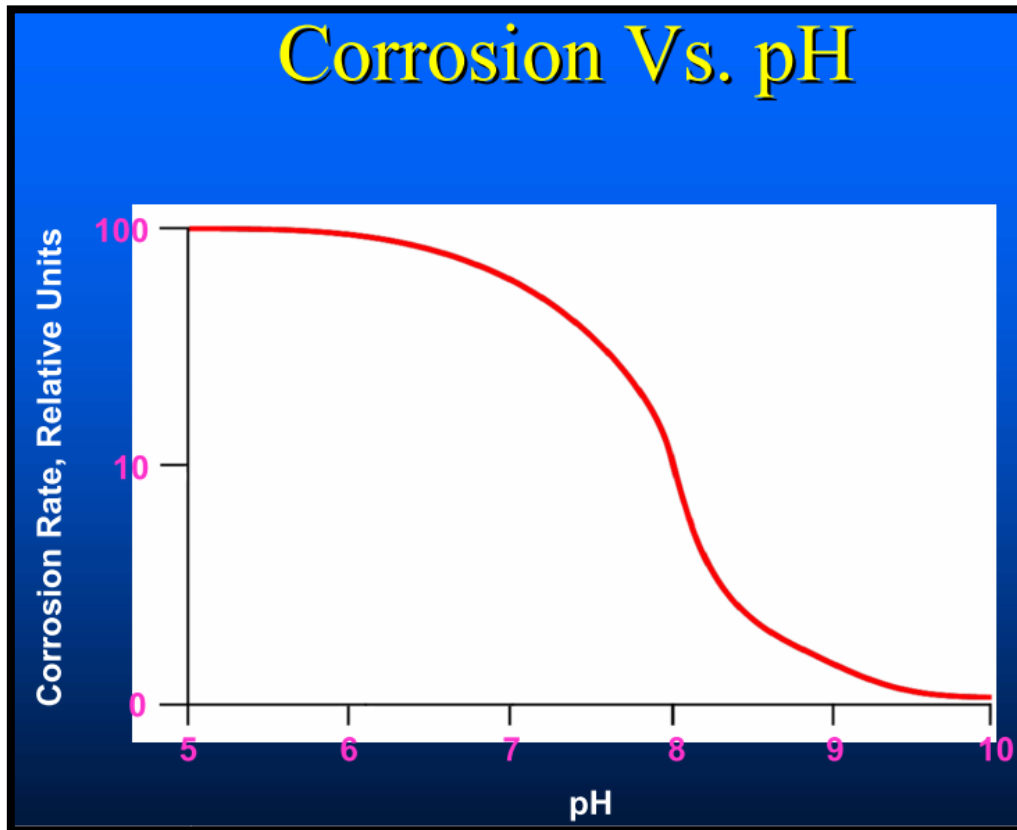


3- عند $\text{pH} = 8$... من الوارد حدوث تآكل.

a. ويحدث أيضاً تآكل في الوسط القاعدي يُسمى caustic corrosion عند $\text{pH} = 13$ كما يحدث

بالغلايات مثلاً وهى بالطبع غير واردة هنا فى أنظمة التبريد لعدم وصول الـ pH إلى هذه الدرجة.

b. انظر الرسم التالي يظهر أن معدل التآكل يزيد كلما نقصت الـ pH واتجهت للحامضية:



4- ثاني أكسيد الكربون يساهم في حدوث التآكل مثل أخيه الأوكسجين حيث يكون حمض الكربونيك وتنخفض الـ pH ... والأحماض بوجه عام تسبب التآكل ... كما أن الكلورايد يسبب التآكل (كما يحدث مع الاستانلس ستيل).

المبادل الحراري النحاسي كفاءته أفضل من الحديد ولا يصدأ مثل الحديد.

5- الألومنيوم يصدأ بسهولة لكن يمتاز بأن الصدأ المتكون منه يقوم بتكوين طبقة من أوكسيد الألومنيوم والتي تعتبر **passive layer** فيصبح أفضل من الحديد والنحاس وتسمى هذه العملية بالـ **self-passivation** ... وهذا الصدأ المتكون أقوى من الألومنيوم نفسه ومتماسك أكثر من صدأ الحديد ... ولذلك يُفضل صناعة المبادل الحراري من الألومنيوم ... ولكن ما يعيبه هو عدم تحمل الضغط والـ **knocking** مثل الحديد ... كما أن الغسيل الكيماوي بالحمض يؤثر بالسلب على الألومنيوم.

6- باختصار الحديد (المطاوع) **mild steel** هو أكثر المعادن عُرضة للتآكل ... أما مجموعة النحاس وسبائك الألومنيوم والاستانلس ستيل فأقل تعرضاً وأبطأ في التآكل ... هذا في العموم ... لكن هذه المعادن تتعرض لنوع خطير من التآكل يسمى الـ **pitting** الذي سنتحدث عنه النقاش القادم ... أضف إلى ذلك أن الغازات الذائبة مثل كبريتيد الهيدروجين والأمونيا والكلورين تدمر هذه المعادن أكثر من الحديد.

7- أيضاً المواد الصلبة العالقة **Suspended solids** تسبب نحر أو كشط للسطح **abrasion or erosion** وقد تستقر على السطح وتسبب الـ **pitting corrosion**.

8- سرعة تدفق المياه تسبب تآكل بسبب نحر السطح erosion (تآكل ميكانيكي) للسطح أو للطبقة الحامية protective layer ... بجانب أنه يسرع من توصيل الأوكسجين أو المادة التآكلية للسطح ... ويأخذ بقايا التآكل بعيداً مع سريانه ... ويتأثر النحاس أكثر من الحديد نتيجة لأن سطحه أكثر نعومة ... هذا وننبه أيضاً أن انخفاض سرعة التدفق يؤدي إلى التآكل بطريقة غير مباشرة لأن تراكم المواد العالقة على السطح يزيد ويسبب ال pitting corrosion أو أن الترسبات الملحية ينتج عنها Corrosion under deposits كما سنوضح بعد ذلك ... إنها سلسلة وشبكة متداخلة!

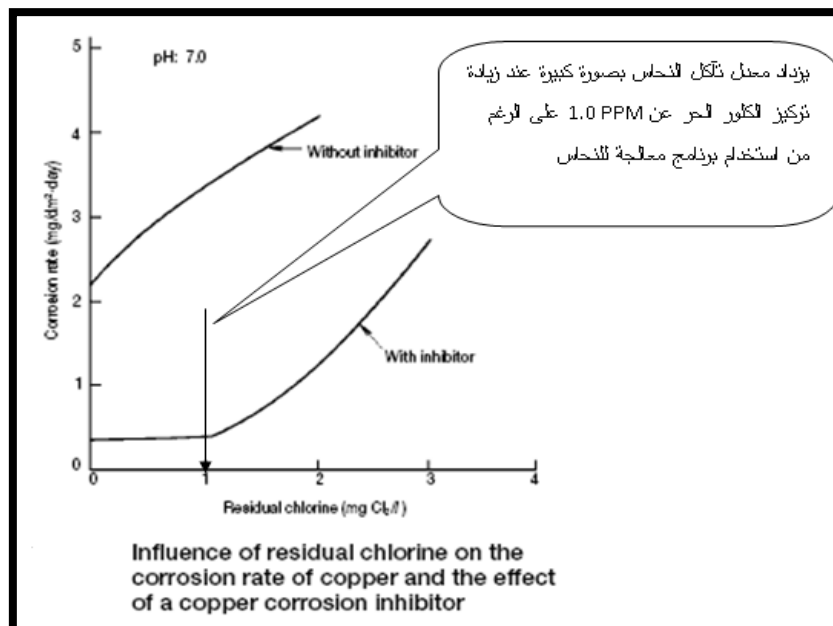
9- الكائنات الميكروبية تنتج مواد جانبية حمضية acidic by-products من النشاطات البيوكيميائية ... فمثلاً البكتيريا اللاهوائية تفرز كبريتيد الهيدروجين الذي يسبب التآكل بالطبع.

تركيز الكلور الحر Residual Chlorine في المياه وعلاقته بالتآكل:

كما سنري في المناقشات القادمة أن الكلور ومركباته يستخدم في مقاومة النمو البيولوجي والبايوفولنج ... ويتبقى من الكلور في مياه التبريد 0.3 إلى حوالي 1.0 جزء في المليون كلورين متبقي حر ... فإذا حدث وكانت عملية الكلورة غير متحكم فيها لمشكلة في أداء الطلمبة أو المتابعة ... فقد يصل الكلورين الحر إلى نسب أكبر من ذلك ... فلو كانت هناك سبائك نحاسية في دائرة التبريد فإنها ستعرض للتآكل طردياً مع زيادة الكلور الحر.

عادة ما يتم استخدام مركبات الكلور في عمليات المعالجة البيولوجية بتركيز 1.0 ~ 0.3 ppm في مياه التبريد ... وعندما تكون عملية المعالجة البيولوجية غير جيدة التحكم (عدم وجود متابعة وتنظيم جيد لعملية الإضافة) فإن تركيز الكلور الحر يمكن أن تصل إلى عدة ميللجرامات/لتر.

والشكل التالي يوضح أيضاً تأثير الكلور على النحاس بالرغم من وضع ما يسمى بممانع تآكل للنحاس Copper Corrosion Inhibitor عندما تزيد نسبته عن 1 جزء في المليون ... ويوضع ذلك في الحساب عند وضع برنامج مقاومة التآكل:



تركيز الكبريتات Sulphate في المياه وعلاقته بالتآكل:

أيضاً الكبريتات يُسبب أنواع من التآكل في منظومة التبريد فيسبب pitting أو crevice وغيره من أشكال التآكل ... تشبه تماماً الكلورايد في عملية الـ de-passivation ... بجانب أنها تزيد جداً من التوصيلية الكهربائية للمياه وتحفز عملية التآكل ... بجانب ذلك فإنها تشجع بكتيريا اختزال الكبريتات sulphate reducing bacteria في طبقة البايوفيلم على اختزالها وتسبب pitting عميق في المعدن ... كما أنها تسبب تدمير للخرسانة التي قد تدخل في بناء الحوض السفلي.

ما هي مؤشرات حدوث التآكل؟

إما أن نراها بالعين المجردة على الأسطح أو نلجأ لموضوع تركيز المعدن في المياه خاصةً مع بدايات أو المراحل المبكرة من التآكل.

زيادة تركيز المعدن (حديد - نحاس - ألومنيوم) في المياه هي أهم مؤشرات حدوث التآكل ... فمثلاً وجود نسبة من الحديد الذائب dissolved iron في المياه فوق التركيز المعتاد معناه حدوث تآكل في المبادلات أو المواسير أو ... أو ... (وقد يترسب مرة أخرى على هيئة حديد ثلاثي).

وننبه هنا إلى الآتي ... قد يكون هناك حديد في مياه المصدر كميّاه البلدية نتيجة تآكل من المواسير ... لنفترض أن الحديد في مياه البلدية 0.05 جزء في المليون ... وكانت عدد الدورات C.O.C ثلاثة ... معنى ذلك أن نسبة الحديد ستتضاعف ثلاث مرات وتصبح 0.15 جزء في المليون ... لو تم قياس الحديد فعلياً في مياه البرج ووجدناها 0.5 جزء في المليون معنى ذلك أن الزيادة تأتي من حدوث تآكل في منظومة التبريد ... قد يكون المصنع يضع حداً أقصى للحديد 1 جزء في المليون ... فنقول أن 0.5 جزء في المليون تحت مرحلة الخطر ولكن يجب أن نضع في الحسبان أن هذا التآكل وإن كان ضعيفاً فإنه يعني حدوث استهلاك للمواسير والمعدات مع الوقت.

يجب إذاً قياس الحديد في المياه الخام لأنها قد تحتوي على زيادة في الحديد قد تصل إلى 0.5 جزء في المليون وهنا يجب الاقتصاد على دورتي تركيز (2 Cycles) حتى لا يزيد الحديد على 1 جزء في المليون (3 دورات تركيز تزيد الحديد إلى 1.5 جزء في المليون) والزيادة في الحديد كما قلنا تؤدي إلى ترسبه ... كلام مهم يجب أن يوضع في الحسبان.

المهندس سلمان الفارسي:

العوامل المؤثرة على التآكل في الأبراج:-

- 1- ال pH وخاصةً في حالة الإنخفاض تكون أكثر عرضة للتآكل.
- 2- الغازات الذائبة مثل : O_2 , CO_2 , H_2S , Cl_2 .
- 3- الأملاح الذائبة وخاصةً في حالة الإرتفاع تكون أكثر عرضة للتآكل.
- 4- درجة الحرارة وخاصةً في حالة الإرتفاع تكون أكثر عرضة للتآكل.
- 5- النمو البكتيري.

6- المواد الصلبة العالقة.

7- سرعة المياه.

سؤال متدرب:

لماذا يعتبر أيون الكلورايد أكثر الأيونات التي تسبب التآكل؟ وبعض المصنعين يوصون بعدم زيادة تركيزه عن 500 ppm.

رد المهندس: Hassan El Bahr

500 رقم كبير جداً ... الأفضل ألا يتعدى 250 جزء في المليون.

رد المُحاضر:

300 جزء في المليون حد أقصى مع الرأفة!! والأفضل أن لا يزيد عن 200-250 جزء في المليون كما قال المهندس حسن ... والكورايد يسبب نوع من التآكل يسمى Pitting ... سيتم شرحه بالتفصيل عند الحديث عن أنواع التآكل.

النقاش القادم أخي الكريم مع أنواع التآكل

.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

15

أنواع

التآكل !!



النقاش الخامس عشر :**15- أنواع التآكل**

الحقيقة أن هناك حوالي 17 نوع أو أكثر من التآكل الذي يصيب المعادن! ... كما قلنا نوع الكتروليماني ونوع آخر ميكانيكي لا دخل للكيمياء فيه ...

واختصاراً هنا وبعد نقاشين عن التآكل ... نذكر هنا أهم وأشهر الأنواع فقط لأن موضوع التآكل كما قلنا بحر واسع ...

- 1- تآكل ميكانيكي Mechanical corrosion.
- 2- تآكل كيميائي عام General corrosion.
- 3- تآكل التنقير Pitting corrosion.
- 4- تآكل جلفاني Galvanic corrosion.
- 5- التآكل الخلايا المركزة Concentration cell corrosion.
- 6- تآكل تصدعي Crevice corrosion.
- 7- تآكل التعرية Erosion corrosion.
- 8- تآكل نتيجة الترسيب Under-deposit corrosion.
- 9- تآكل بسبب نشاط ميكروبي Microbial corrosion.
- 10- التآكل الهيدروجيني Hydrogen damage corrosion.
- 11- تآكل بسبب الانضغاط أو الضغط على المعدن Stress cracking corrosion.
- 12- تآكل حبيبي داخلي Inter-granular corrosion.
- 13- تآكل اختياري selective leaching corrosion.

من خلال متابعتك لأنواع التآكل تستطيع أن تتوقع نوع التآكل الذي يصيب دائرة التبريد عندك من خلال ال metallurgy وفحصك لأجزاء الدائرة ... وقد يكون هناك عدة أنواع في نفس المنطقة!

1- تآكل ميكانيكي:

وأبسط مثال له هو ما يحدث للمعدن من النحر أمام الشواطئ بسبب تعرضها لحركة مياه البحر والأمواج حيث يحدث عملية أشبه بالصنفرة لسطح المعدن.

2- تآكل كيميائي عام General corrosion:

يحدث تآكل على كل سطح المعدن على شكل متماثل uniformly أو بصورة منتظمة مكونة أكاسيد الحديد ... انظر الصورة التالية للماسورة المعرضة لمياه البحر:

Uniform Corrosion



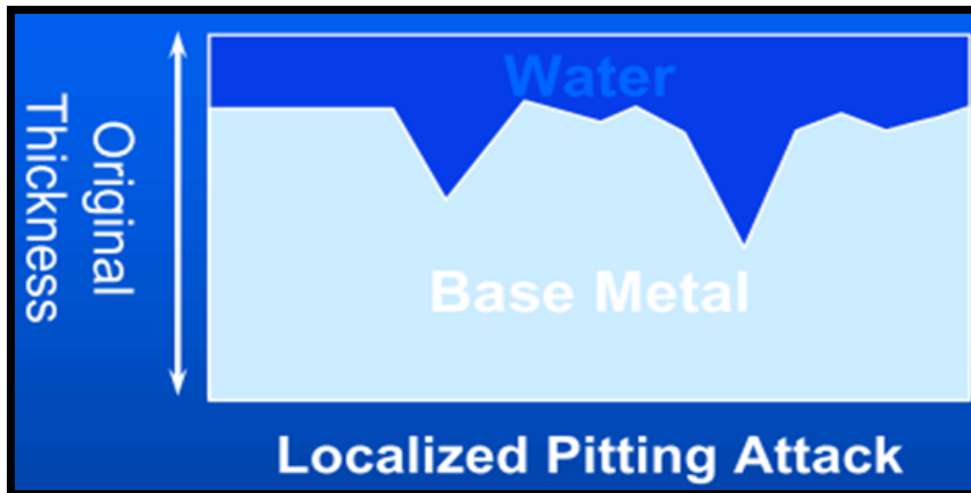
ويحدث هذا الشكل من التآكل عندما يكون الأنود ثابت ومستقر في مكانه فيكون التآكل منتظماً **Uniform corrosion** كما قلنا:



وآلية التآكل الكيميائي قد تم شرحه عندما شرحنا الأربع المراحل التي تحدث أثناء التآكل ومن أراد الاطلاع فليرجع للنقاش الثالث عشر.

الصدأ المنتظم ينتشر كثيراً في الأجواء الحامضية (مثل المناطق الصناعية) حيث يحدث بسبب تكون أحماض كربونية وغيرها ويسبب تلفاً منتظماً للأنابيب.

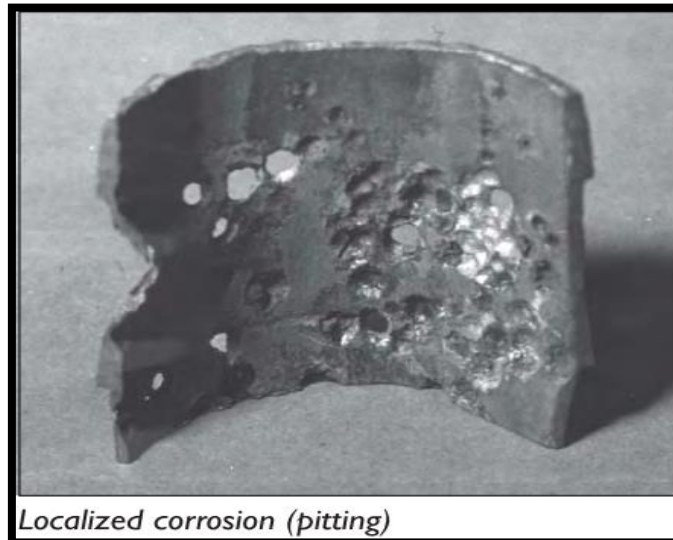
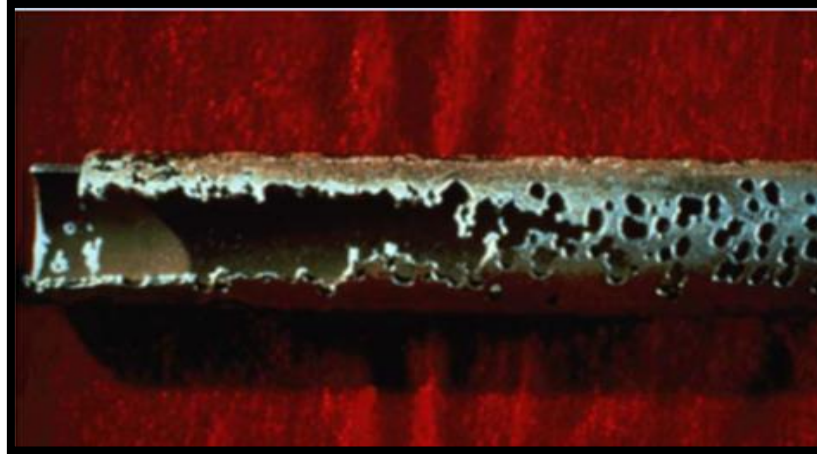
2- تآكل التنقيير **Pitting corrosion**:



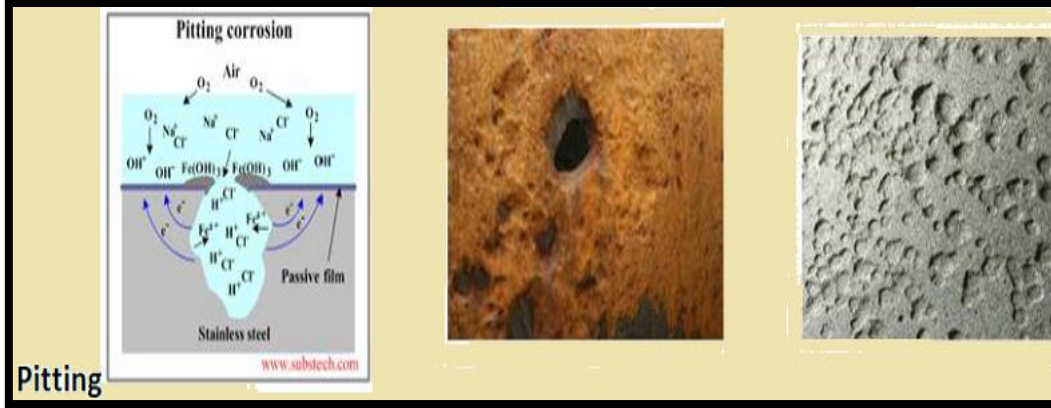
-3

نوع آخر من التآكل يسمى ال **pitting corrosion** أو يسمونه ال **localized corrosion** ... وهو تآكل يسبب "حفر" أو "ثقوب" في جزء صغير من سطح المعدن خاصة لو كان ضعيفاً ... وهو من أخطر أنواع التآكل ... ببساطة يبدأ بذرة تترك السطح بسبب التآكل المعتاد فتصبح الذرة التي أسفل منها لها جهد عالي فتترك هي أيضاً السطح وهكذا حتى تتكون حفرة في سطح المعدن ... وهو تآكل سريع وخطير ويُفسد المعدة ... ويعتبر التآكل العام المعتاد **general corrosion** أخف ضرراً منه لأن الأخير يعتبر مشكلة على السطح فقط دون أن يضر الطبقات الداخلية ... كما أن مادة الصدا المتكونة تعتبر حماية للمعدن تحجزه عن الأوكسجين الذائب في الماء فيقل التآكل مع الوقت ... أيضاً يعتبر ال **pitting corrosion** خطيراً نظراً لأنه يكون غير واضح إلا في المراحل المتقدمة.

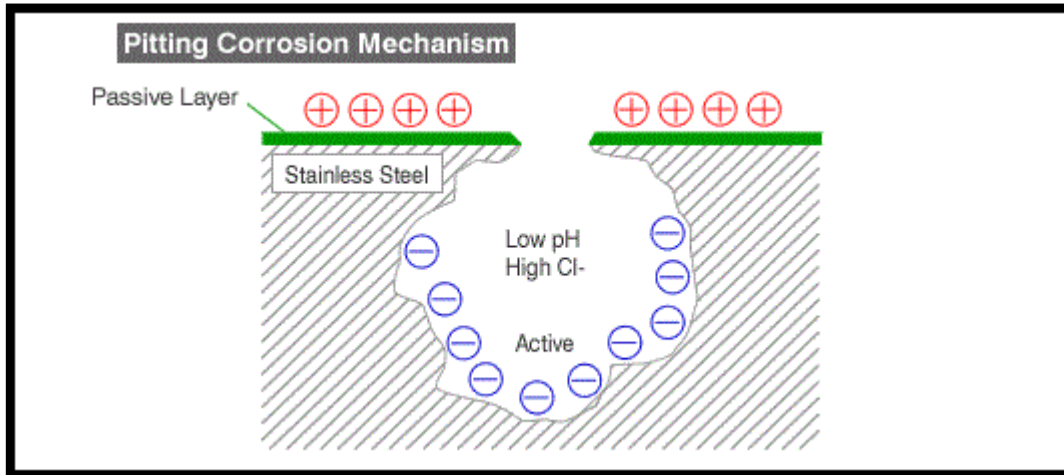
انظر الصور التالية يظهر فيها ال **pitting corrosion** :



Localized corrosion (pitting)

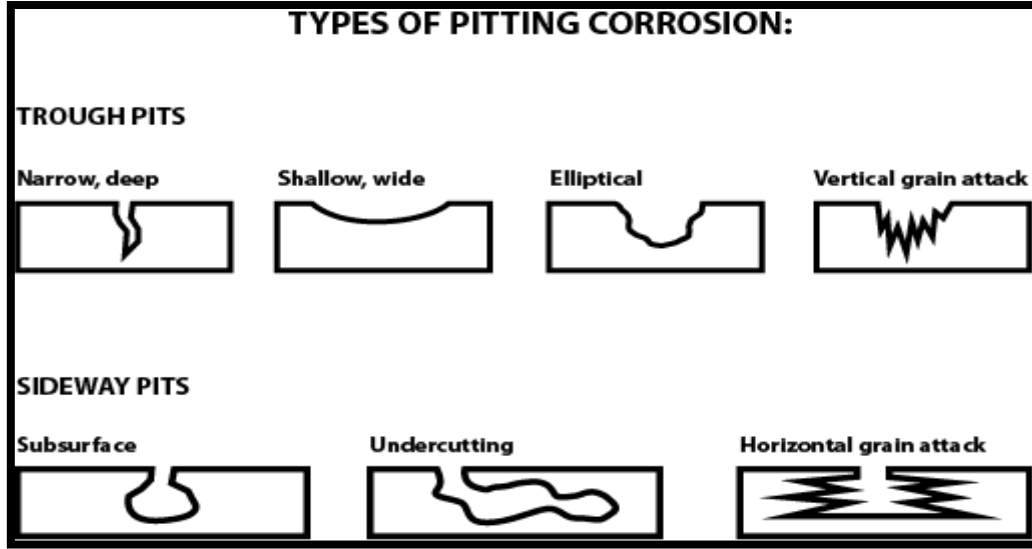


وال **pitting corrosion** يظهر في الاستانلس (316 – 304) أو الألومنيوم أكثر من الحديد العادي ... وأشهر مسبب له هو أيون الكلورايد والذي يزيد بالطبع في مياه البحر المالحة (بالإضافة للأوكسجين) ... يهاجم سطح الاستانلس الذي يعتبر **passive layer** لذا يُسمى **depassivating ion** ... وقد يقلل الـ pH نتيجة لتراكم أيونات الهيدروجين الموجبة ... ويساعد على التآكل ... وتصبح هذه المنطقة لها جهد سالب ... والمنطقة المحيطة ستكون موجبة كما يظهر في الصورة التالية ... فينشأ جهد كهربائي وتنتقل الأيونات السالبة من على السطح إلى هذه المنطقة ذات الجهد السالب ومنها إلى المياه إلى الجهد الموجب ... زيادة الأيونات السالبة من السطح وانتقالها يسبب زيادة في حجم الثقب شيئاً فشيئاً:



ولذا كانت التوصيات أن لا يزيد الكلورايد في المياه الراجعة من برج التبريد عن 200 – 250 جزء في المليون خاصة مع الاستانلس ستيل.

وهذه أنواع متعددة من أشكال الـ **Pitting corrosion** من حيث الحجم والعمق:



4- تآكل جلفاني Galvanic corrosion:

سُمي هذا النوع من التآكل بالتآكل الجلفاني Galvanic corrosion نسبة إلى الخلية الجلفانية ...

فما هي الخلية الجلفانية؟؟ وكيف تسبب تآكل المعدن؟

أحد مسببات التآكل في المعادن هو تكون الخلية الجلفانية (أو الخلية الفولتية) أو ال Galvanic attack ... وتتكون عندما يحدث تلامس بين معدنين مختلفين (incompatible) في محلول موصل للكهرباء (مثل الماء) والمعدنان هنا يُطلق عليهما Galvanic couple ... والمعدن الأكثر نشاطاً يصبح هو الأنود الذي يفقد الإلكترونات ... والكاثود يكون أكثر خمولاً (ويسمونه أكثر نبلاً noble).

مثال لذلك تركيب مواسير حديد مع مواسير نحاس أو وصلات حديد مع أنابيب النحاس كما يحدث في دوائر التبريد أو حديد مع ألومنيوم أو حديد ذائب في الماء يُلامس سطح من حديد كربوني carbonic iron الذي يدخل في صناعة المواسير فينشأ فرق جهد بينهما ...

انظر الصورة على اليسار وقد حدث التآكل الجلفاني بسبب اتصال صامولة من الحديد الصلب بالمسمار اللولبي النحاسي (Copper bolt) ... وعلى اليمين مسمار بنوع مختلف عن المعدن الذي دخل فيه.



وهذه صورة أخرى للتآكل الجلفاني تستطيع تفسيرها الآن على سطح الاستانلس:



وهذه صورة التآكل الجلفاني للحديد والألمونيوم في وجود ماء مالح ... وقد تكونت ثقوب في لوح الألمونيوم خلال سنتين:



التآكل الجلفاني يحدث بوضوح مع زيادة الملوحة (كلوريد الصوديوم يكون فوق الـ 1000 جزء في المليون) وهي بيئة أكثر توصيلية كهربية.

يحدث أيضاً التآكل الجلفاني في حالة حدوث تآكل عادي في مسمار مثبت في معدن من نفس نوعه! ولكن المسمار يتآكل أولاً تآكلاً عادياً ويتحول إلى أكسيد وبالتالي يتغير عن المعدن المثبت فيه فتنشأ خلية جلفانية بسبب فرق الجهد! وبذلك يؤدي التآكل العادي إلى التآكل الجلفاني ... وهو أمر دقيق جداً.

والتآكل الجلفاني تحدث فيه عملية تفاعل كهروكيميائي ... حيث ينشأ قطبين (الأنود والكاثود) ... المعدن الأول يصبح هو الأنود الذي يذوب ويتآكل في المياه بالطبع عن طريق أيوناته الموجبة التي تغادر السطح وتترك الإلكترونات على سطح الأنود والتي تنتقل إلى الكاثود (من الوسط الأعلى في الجهد إلى الوسط الأقل في الجهد ... وتترسب الأيونات الموجبة مرة أخرى على الكاثود (المعدن الثاني) ... وإذا تم توصيل سلك كهربائي بين المعدنين فستكتمل الدائرة الكهربائية (فكرة عمل البطارية).

ولذا جاءت فكرة الحماية الكاثودية (Cathodic protection) للمعدن ... لكي نحمي هذا المعدن من التآكل نجعله هو الكاثود بتلامسه مع معدن نضحي به ونجعله الأنود الذي يذوب مع الوقت لصالح الكاثود ويُسمى الأنود المضحى Sacrificial anode كأنود الزنك ... وأيضاً نعمل على اختيار معدنين متقاربين جداً في السلسلة الكهروكيميائية بجانب إضافة مضادات التآكل.

أيضاً الحديد المغطى بطبقة من طلاء الزنك ... يتآكل الزنك أولاً فيصبح الحديد معرضاً للتآكل وهذا مثال آخر للتآكل الجلفاني ... وفي علب حفظ الطعام يُغطى الحديد بطبقة من القصدير ... ينشق غطاء القصدير فيتعرض الحديد تحته للتآكل سريعاً.

والسؤال الذي يقفز إلى الذهن في حالة تكون الخلية الجلفانية ... من المعدن الذي سيفقد الإلكترونات (يعني سيصبح أنود) ومن المعدن الذي سيصبح كاثود ويصبح أكثر نبلاً؟

سؤال مهم ... سنرجع من خلاله إلى ما درسناه في المدرسة فيما يُعرف بالسلسلة الكهروكيميائية ... ومن يتأمل في الصورة التالية ... يجد أن الحديد steel يفقد الإلكترونات ويصبح أنود قبل النحاس ... والألمونيوم قبل الحديد ... والزنك قبل الحديد ... والكالسيوم قبل الزنك والحديد ... وآخر جملة هذه ضعتها في ذاكرتك لأننا سنرجع لها وستعرف أهميتها العلمية!

انظر السلسلة الكهروكيميائية:

Electrochemical series		
K	Potassium	Most electropositive ↑ electropositive Increasingly electropositive ↓ Least electropositive
Na	Sodium	
Ca	Calcium	
Mg	Magnesium	
Al	Aluminium	
Zn	Zinc	
Fe	Iron	
Pb	Lead	
(H)	Hydrogen	
Cu	Copper	
Hg	Mercury	
Ag	Silver	
Au	Gold	

ولذا ... من المشاهدات العملية ... تكون خلية جلفانية في دوائر التبريد إذا حدث وارتفع تركيز النحاس في الماء (عن 0.2 جزء في المليون مثلاً) وترسب على سطح الحديد ... وهذا الحديد الذي هو بناء لهيكل دائرة التبريد يصبح الأنود ويتآكل لكونه الأنشط من النحاس ويتأكسد.

5- تآكل الخلايا المركزة Concentration cell corrosion:

مثل التآكل الجلفاني ولكن فرق الجهد ينشأ نتيجة لاختلاف تركيز الأيون أو تركيز الأوكسجين في الألكتروليت أو اختلاف قيمة الـ pH ... وقد يحدث نتيجة لوجود بعض الإتساخ أو المواد الغريبة أو فقاعات لاصقة على سطح المعدن ... وتكون على شكل نقرة أو فجوة عبارة عن خلية مركزة تكون الصدأ أو التآكل.

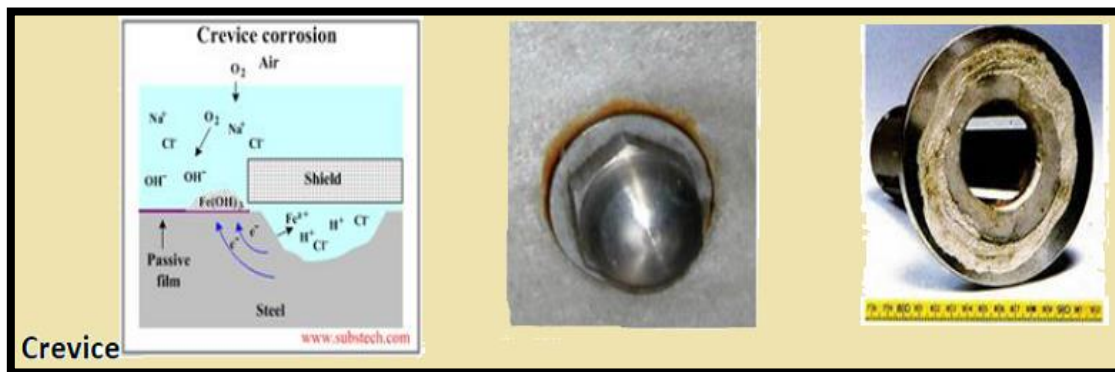
6- تآكل تصدعي Crevice corrosion:

نوع آخر من الصدأ هو الـ Crevice corrosion ... والـ crevice معناها صدع أو شق ... وهو تآكل يحدث بسبب أن جزء من المعدن يُحجب عن المياه أو عن الـ water bulk ... والسبب في ذلك أن مكاناً يكون معرضاً لجهد ومكان آخر غير معرض له فيحدث فرق جهد ... وأبسط مثال لذلك الصامولة (أو الوردة) على سطح المعدن - كما نرى في الصورة التالية - وتحت الصامولة عازل seal أو "جوان" يسبب حجب لسطح المعدن تحته فيتآكل ...

المنطقة المحجوبة تسمى بيئة صغيرة micro-environment تتعرض للتآكل المعتاد وتستهلك أوكسجين ... لكنها لا تتعرض لتجدد المياه أو الـ circulation إلا على نطاق ضيق ... ينتج عن ذلك قلة في تركيز الأوكسجين وزيادة في تركيز الأيونات المتحررة من السطح فيزيد فرق الجهد بين هذه البيئة الصغيرة والـ bulk ... ويزيد معدل التآكل ... وبالمطبع الوصلات fittings الجيدة تقلل حدوث هذا النوع.

ما يزيد الطينة بلة هو أن أيونات الحديد الموجبة المتحررة على السطح تجذب أيونات الكلورايد السالبة في الماء ... وتجد طريقها في أحداث الـ pitting!

أشهر المعادن المعرضة لهذا النوع من التآكل هو الاستانلس ستيل والألومنيوم بسبب أن الطبقة الحامية oxide film تُدمر بتركيز الكلورايد العالي وانخفاض الـ pH.

**7- تآكل التعرية Erosion corrosion:**

نوع آخر يُسمى Erosion corrosion ... يحدث بسبب حركة المعدن بالتلامس مع السائل مثل المروحة داخل المضخة (للحامض مثلاً) فيحدث مثل الكشط abrasion مع مرور الوقت ... ويتميز بوجود فجوات وأخاديد ووديان وثقوب دائرية على السطح!

التآكل هنا ميكانيكي يحدث بسبب الحركة واندفاع الماء المحتوي على فقاعات هواء أو مواد صلبة عالقة أو بسبب السائل (كالحامض) ويعتمد على لزوجة السائل وسرعته **flow rate** ... ولذلك يسمونه **Flow related like Erosion corrosion** ... كما يعتمد على وطبيعة المادة مثل الأس الهيدروجيني. هذا الاندفاع من السائل يعمل على إزالة الطبقة التي تحمي المعدن من تكون الصدأ على مدخل الماسورة أو على طولها وبالأخص أماكن "التخنيق" والأكواع بجانب المراوح ... ويعتمد هذا النوع من التآكل على عدد ساعات التشغيل أيضاً بجانب سرعة تدفق الماء وما تحتويه من عوالق **Suspended solids**. هذه مجموعة من الصور الخاصة بصدأ التآكل:



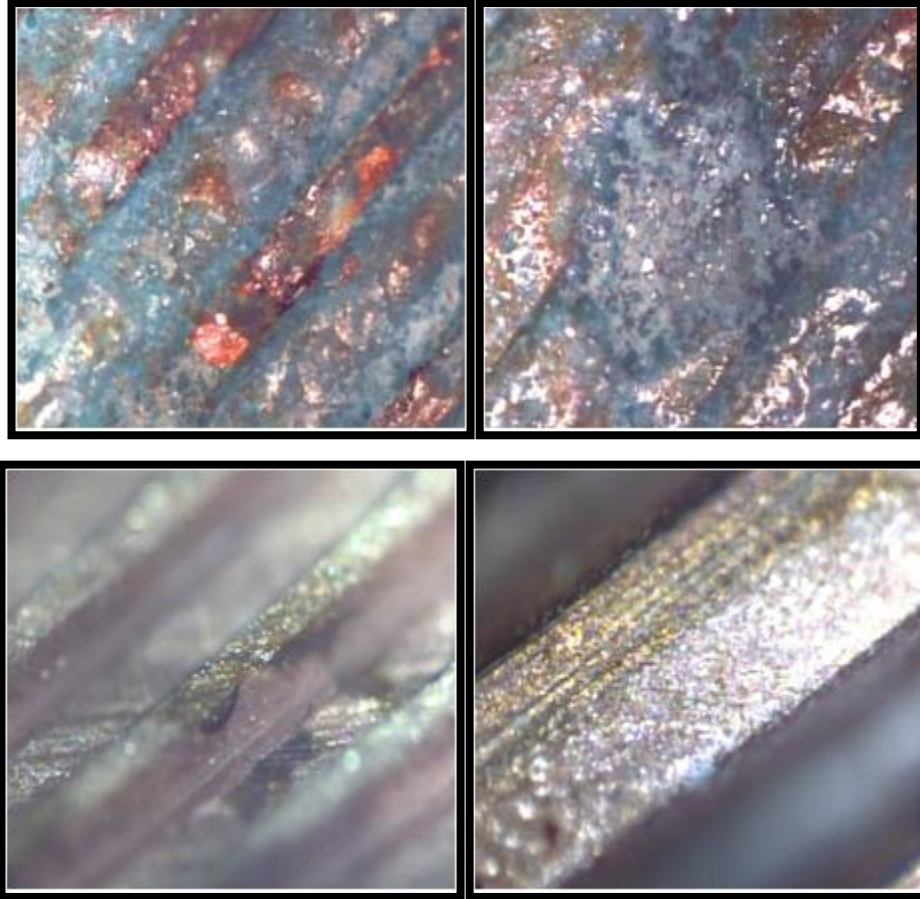


8- تآكل نتيجة الترسيب Under-deposit Corrosion :

نوع آخر من التآكل يُسمى Under-deposition corrosion ... لو سطح حدث له تغطية بقشور الأملاح أو الفاولينج فإن الطبقة التي تحت السطح تصبح معزولة عن مانع التآكل في المياه ... فتُصاب بالتآكل! يعنى لو أزلنا طبقة ال scale سنجد تحتها تآكل ... وأمر وارد ومشهور أن يحدث ال pitting corrosion تحت هذه الطبقة (لذا نجد تأثير الكلورايد على الاستانلس أو الألمونيوم يزيد في هذه المنطقة).

أيضاً تكون الطبقات البيولوجية Biofilm على السطح يسبب نفس الشيء من عزل السطح المعدني عن المياه وعن مانع التآكل بجانب أنها تسبب ال pitting.





9- تآكل بسبب نشاط ميكروبي Microbial corrosion:

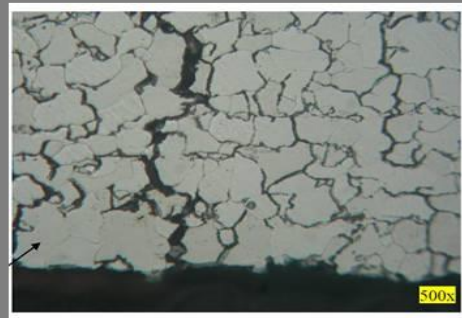
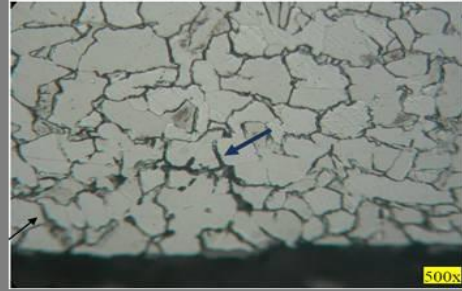
ينتج نتيجة زيادة البايوفوللينج ونمو البكتيريا والميكروبات التي لها افرازات بوليمرية حمضية كما سنتحدث بعد ذلك خاصة عندما نتكلم عن المستعمرات البكتيرية الثابتة على سطح المعدن sessile.



10- التآكل الهيدروجيني Hydrogen damage corrosion:

هو نوع آخر من التآكل بسبب تواجد الهيدروجين الذي يسبب crack على سطح المعدن (مثل البوية أو الدهان على سطح الحائط عليها عندما تتكون فقاعات هواء داخله ويحدث تشقق للبوية).

- Hydrogen Damage



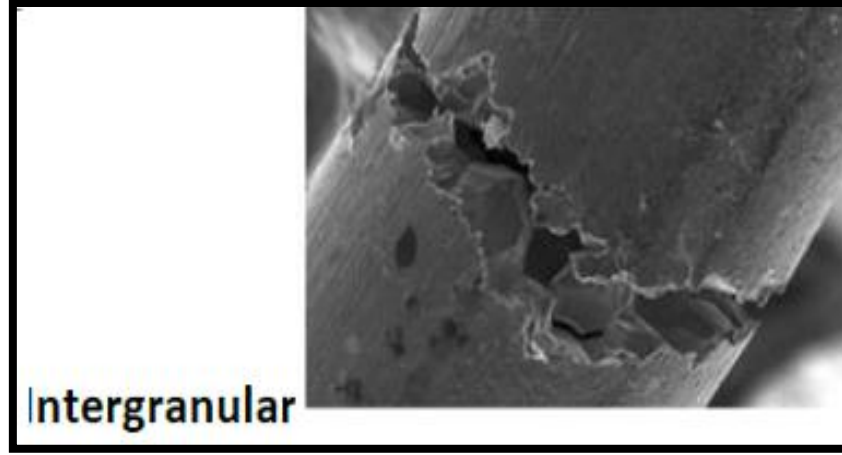
11- تآكل بسبب الانضغاط أو الضغط على المعدن Stress cracking corrosion:

يتعرض المعدن لضغط ميكانيكي mechanical stress أو طبيعة متوترة كالاhtزازات vibration تسبب شرخ في المعدن مع الوقت ... ويساعد ذلك التركيز العالي من الكلورايد مع الاستانلس ستيل.



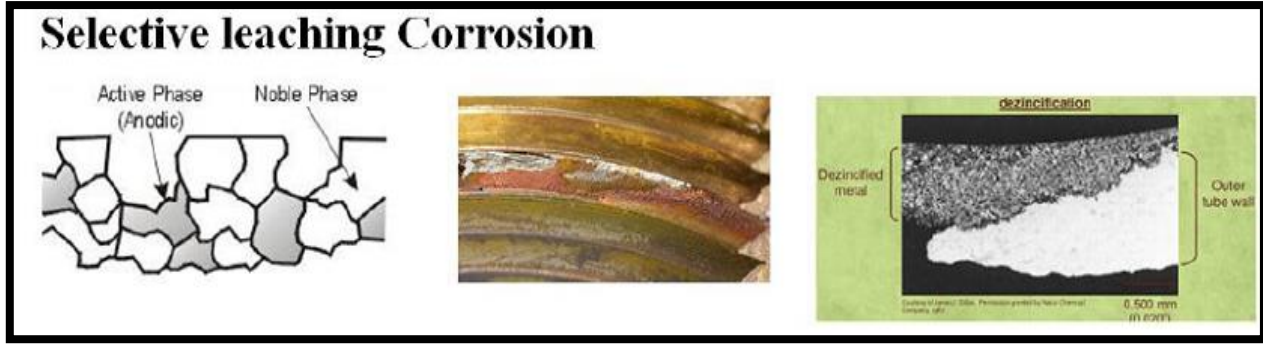
12- تآكل حبيبي داخلي Inter-granular corrosion:

هجوم موضعي localized يحدث بين حبيبات المعدن ... مشهورة جداً مع الاستانلس ستيل الذي تم معالجته بالحرارة بطريقة خاطئة وكانت صناعته رديئة وحدث التشقق في حد حبيبات الكروم ... وهو غير وارد تقريباً في دوائر التبريد.



13- تآكل اختياري selective leaching corrosion:

يستنزف عنصر من سبيكة كمن يهاجم الزنك فقط في سبيكة (النحاس- زنك) في عملية تسمى ال De-zincification فهو يختار فريسته بدقة!



يظهر ذلك جلياً مع ظروف pH أقل من 6 وكلورين متبقى أعلى من 1 جزء في المليون. والأنواع أخرى من التآكل أقل أهمية في دوائر التبريد تستطيع أن تستزيد منها من المراجع العلمية. تعليق المهندس عبد العزيز عبد الغنى السبئي:

1- أسباب التآكل:

تتلخص أسباب التآكل واهتراء المواد الإنشائية في التجهيزات المختلفة في مايلي:

- 1- المواد الآكالة الموجودة في الأجواء المعمول بها مثل الحموض والأسس والأملاح والمركبات الكبريتية والكلورية والفلورية إلخ.
- 2- تأثير الشروط السائدة من ضغط ودرجة حرارة وتركيز.
- 3- طبيعة وتركيب المواد المكونة للتجهيزات ومقاومتها للأجواء المعمول بها.
- 4- التأثير الميكانيكي الناتج عن الاحتكاك والتبريد والتسخين وتدفق الموائع.

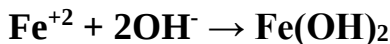
2- أنواع التآكل:

1- التآكل الكيميائي:

عبارة عن تخریب سطح المعدن عند تلامسه مع عنصر كيميائي دون أن يرافق ذلك ظهور تيار كهربائي في المعدن.

2- التآكل الكهروكيميائي:

عبارة عن تخریب سطح المعدن عند تلامسه مع عنصر كيميائي مع ظهور تيار كهربائي في المعدن. ويتلخص جوهر التآكل الكهروكيميائي في أنه نتيجة للتأثير المتبادل بين المعدن والوسط المحيط به (طين ، ماء) ... حيث يحدث تخریب للمعدن مع ظهور تيار كهربائي فعند تلامس المعدن مع الماء المستقطب فإن الذرات السطحية للمعدن تنزح من مكانها بتأثير قوة حقل جزيئات الماء والتي بمساعدة حجمها الصغير تتغلغل في جسم المعدن ... هذا التأثير الذي يسمى عادةً المعالجة بالماء قد يكون كبيراً بحيث أنه يحدث ضعفاً بين ذرات المعدن مع إلكتروناتها الخارجية ... وأيون المعدن Fe^{2+} يحصل على إمكانية الهروب إلى الوسط السائل وفور هروبه تحيط به ذرات المعدن وتتفاعل معه وبالتالي يتحرر إلكترونان على سطح المعدن وينتقلان إلى السائل فيتعادل الأوكسجين والماء وينتج بالتالي OH^- والذي يعود ليتفاعل مع الحديد من جديد.



وعند تواجد كمية كافية من الأوكسجين في السائل فإن ماءات الحديد تتفاعل معه وتتحول إلى هيدرات راسبة كما في المعادلة:



وهكذا يحدث التآكل الكهروكيميائي للمعدن .

3 – أشكال التآكل:

تصنف أشكال التآكل في الحياة التطبيقية حسب خواص ومواصفات التآكل وهذا ما يسهل عملية البحث عن أسباب حدوث التآكل ومعرفتها واختيار الطريقة الملائمة للمعالجة .
استناداً إلى أشكال التشققات أو التخریب كنتيجة لعملية التآكل يمكن تمييز الأشكال التالية:

1- التآكل المستمر :

يتحقق على كامل السطح المعدني ويمكن أن يكون منتظماً أو غير منتظم.

التآكل المنتظم:

يتم بسرعة تآكل واحدة ومنتظمة على كامل سطح المعدن مثال على ذلك صدأ صفيحة حديدية متروكة لفترة زمنية طويلة في وسط رطب حيث يلاحظ ظهور طبقة رقيقة ومنتظمة تغطي سطح الصفيحة (ذات لون أحمر داكن).
التآكل الغير منتظم:

يحدث على أجزاء مختلفة من سطح المعدن وبسرعة تآكل غير متساوية .

2- التآكل التماسي :

يحدث هذا التآكل نتيجة التماس بين معدنين أو أكثر موجودين في وسط متآين (متشرد كهربائياً).

3- التآكل النقطي :

يحصل في الأخاديد وفي الشقوق الموجودة على سطح المعدن حيث تكون الشقوق والأخاديد في حالة تماس مع سائل متآين . وهناك حالة خاصة لهذا النوع من التآكل يُطلق عليها اسم التآكل الخيطي أو الشعري والذي يظهر على سطوح بعض المعادن المطلية بمادة واقية من التآكل والمعرضة لتأثيرات العوامل الجوية وفي هذه الحالة تلعب المسامات أو الثقوب السطحية الرقيقة دور الأخاديد.

4- التآكل القرصي :

يتولد في مواضع محددة من سطح المعدن حيث يتسع إلى أحجام على الرغم من أنها ليست كبيرة إلا أنها تسبب انشراخاً عميقاً للمعدن حيث يحدث نتيجة لذلك ما يطلق عليه اسم القرحة المعدنية (التآكل القرصي) والتي تلاحظ بشكل واضح على السطوح المعدنية وحتى المقاومة منها للتآكل في حالة غمرها في محاليل حاوية على شوارد الكلور العدوانية (النشطة) تجاه المعدن كمياء البحار.

5- التآكل البنيوي (تآكل بين البلورات):

يظهر هذا التآكل على طول الحدود الفاصلة بين بلورات المعدن أو الخليطة المعدنية ويعود سببه إلى السرعة الكلية لاحتلال الحدود بين البلورات مما يؤدي إلى تهديم المعدن ... وفي هذه الحالة فإن الخواص الميكانيكية للمعدن تسوء بشكل ملحوظ رغم أن الشكل الخارجي له لا يطرأ عليه أي تغيير.

بجانب التفاصيل السابقة فهذا ملخص مبسط للمعادن ومخاطر التآكل التي تتعرض لها:

المعدن	مخاطر التآكل في دائرة التبريد
Steel الحديد الصلب	- كل العوامل التي تزيد التآكل مثل المياه المشبعة بالأكسجين الذائب تسبب تآكل عام .General corrosion - التلامس مع معادن نبيلة noble metals تسبب Galvanic corrosion - مناطق المياه الراكدة تسبب هجوم محلي local attack - زيادة الكلورايد والكبريتات تسبب pitting - انخفاض ال pH إلى 4 يسبب تآكل حامضي سريع و pitting - الفاولينج يسبب concentration cell type corrosion - زيادة الفاولينج والكبريتات تسبب نمو بكتيريا اختزال الكبريتات تسبب التآكل أيضاً.
Stainless steel الاستانلس ستيل	- الكلورايد Cl^- والكبريتات SO_4^{2-} يسببان إزالة الطبقة الحامية Depassivation ويسببان Pitting corrosion - التركيزات العالية من الكلورايد تساعد في حدوث ال corrosion Stress cracking
Copper النحاس	- التلامس مع معادن أخرى يسبب Galvanic corrosion - الأمونيا تسبب له cracking - التدفق العالي للمياه يسبب erosion corrosion
Aluminum الألومنيوم	- لو ال pH أعلى من 9 في وجود أيون الهيدروكسيد (OH^-) يحدث تآكل سريع.

وهذا جدول آخر أكثر تفصيلاً لمن أحب الإطلاع والاستزادة:

Effect of Water Quality Parameters on Cooling System Component Materials

Type of Material	Effect of Water Quality Parameters
Galvanized Iron (Cu and Zn coating)	Susceptible to corrosion (white rust) from: (a) high dissolved solids, particularly chlorides and heavy metals, or (b) pH levels below 6.5 or above 8.5.
Stainless Steel	Susceptible to corrosion, usually at lower rates than for mild steel. Corrosion can be due to high dissolved solids — primarily chlorides that can cause stress corrosion cracking (SCC) or severe pitting. Chloride levels above 200 mg/l in contact with 304-SS are of concern when deposit-forming conditions exist. (Chlorides concentrate under deposits.) However, 1,000 mg/l chloride levels do not cause 304-SS corrosion if surfaces are free of deposits. The 316-SS alloy can tolerate chloride levels of 5,000 mg/l chloride levels when deposit-forming conditions exist, and 30,000 mg/l when surfaces are free of deposits. Biomass deposits, particularly from sulfate-reducing bacteria and iron-depositing bacteria, can cause rapid pitting of stainless steel. Chemical water treatment can effectively minimize or eliminate this potential. Maintaining a positive oxidant level will benefit the integrity of the protective oxide film on stainless steels and will reduce biomass accumulation. The water treatment program can also prevent deposits and help keep stainless steel surfaces clean. Nitrates are known to reduce stainless steel corrosion.
Mild Steel	Susceptible to corrosion from: (a) high total dissolved solids, usually chlorides, (b) any deposit-forming constituents such as suspended solids, biomass, scale, and (c) heavy metals, such as copper. Effective water treatment and operational changes can eliminate or minimize corrosion caused by these conditions. Operational changes include increased flow rates and periodic flushing of heat exchangers. Ammonia does not contribute directly to steel corrosion (but rather indirectly through increases to biomass).
Copper alloys including Admiralty Brass and Muntz metal	Susceptible to corrosion from: (a) ammonia and (b) high dissolved solids, usually chlorides and deposit-forming constituents such as suspended solids. Ammonia above 0.5 mg/l as NH_3 can cause cracking of brass (Admiralty), severe corrosion of copper alloys, and contributes to biomass that can cause corrosion to copper alloy under deposits. The cracking of brass can be rapid and severe. Even chloramines (chlorine plus ammonia) can cause cracking. The use of copper corrosion inhibitors such as TTA (Tolytriazole or BZT (Benzotriazole) reduce but do not totally eliminate cracking. The use of BBT (Butylbenzotriazole) is still more effective, but does not totally eliminate cracking. Copper-nickel alloys (90/10 and 70/30) are resistant to cracking. Water treatments can minimize or eliminate other contributors to copper alloy corrosion.
Wood	Needs to be protected from decay or chemical attack.
Plastics	Should be corrosion-resistant, but needs to be kept clean and free of deposits to prevent clogging, etc. Plastic film in particular needs to be kept clean and free of biomass buildup.

وهكذا بعد أن استعرضنا أهم أنواع التآكل ... تستطيع أن تتوقع نوع التآكل الذي يصيب دائرة التبريد عندك من خلال ال metallurgy وفحصك لأجزاء الدائرة ... زود مهاراتك وحرك ذهنك وضع في اعتبارك أن بعض الأجزاء المعدنية قد تتعرض لعدة أنواع من التآكل في نفس الوقت!



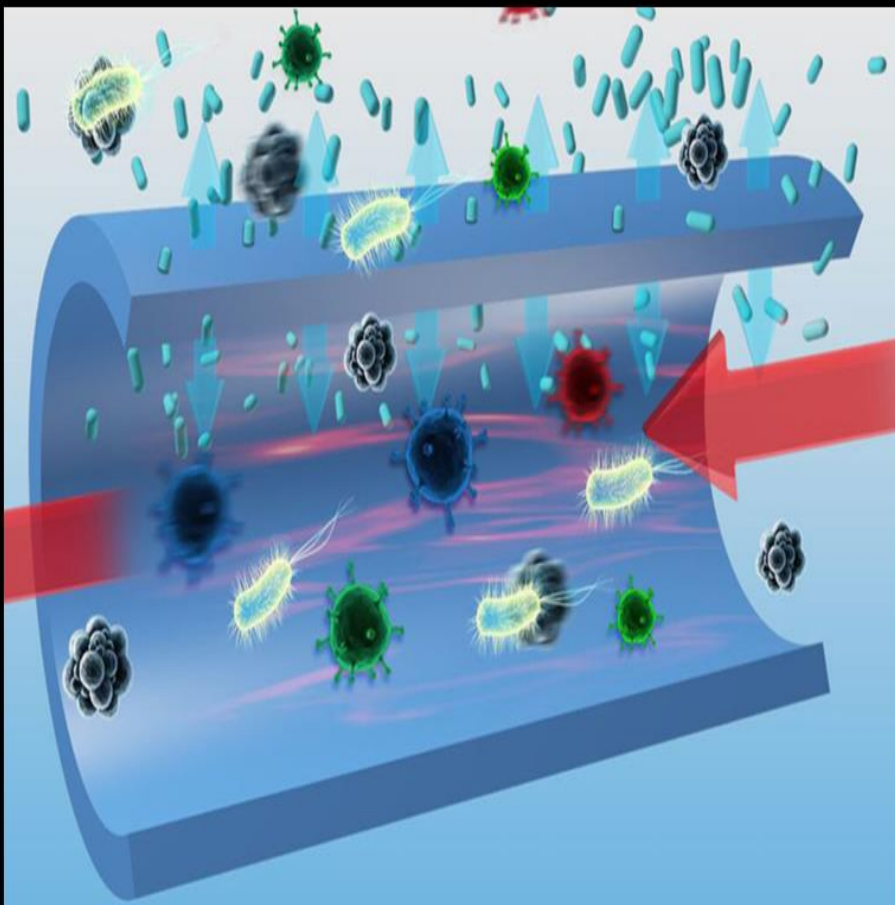
WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

16

مشكلة النمو
البيولوجي

(البايوفاولينج)!!



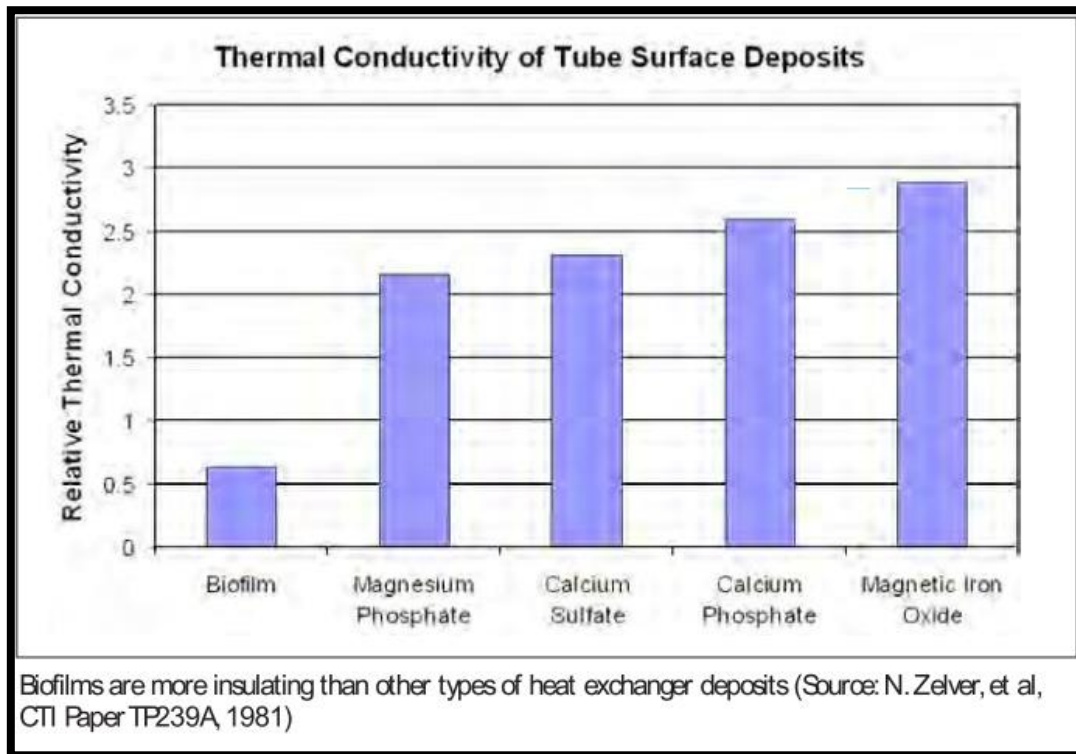
النقاش السادس عشر :**16- مشكلة النمو البيولوجي (البايوفاولينج) Biological fouling**

الفاولينج العام (أو الإلتساخ) هو تراكم لمواد غير مرغوب فيها (غير القشور) على الأسطح فتسبب لها الضرر أو تعوق عملها (مثل تراكمها على المبدلات الحرارية) ... بجانب أنها تؤثر على فاعلية الكيماويات المضافة.

وأهم أنواع الفاولينج الذي نحن بصدده هو الفاولينج البيولوجي أو النمو البيولوجي Biological growth الذي يتكون بفعل نمو الكائنات الميكروسكوبية (الطحالب – البكتيريا – الفطريات بأنواعها).

وللأسف يقلل البعض من خطورة البايوفاولينج مقارنةً بترسب القشور الملحية ... ومفاجأة تأتينا حينما نعلم أن كمية العزل الحراري Thermal isolation الذي يحدثه البايوفاولينج قد يصل إلى أربعة أضعاف ما يسببه ال scales بسبب كثرته وسرعته في التكون مع البيئة المناسبة ... فلننتبه إلى خطورته!

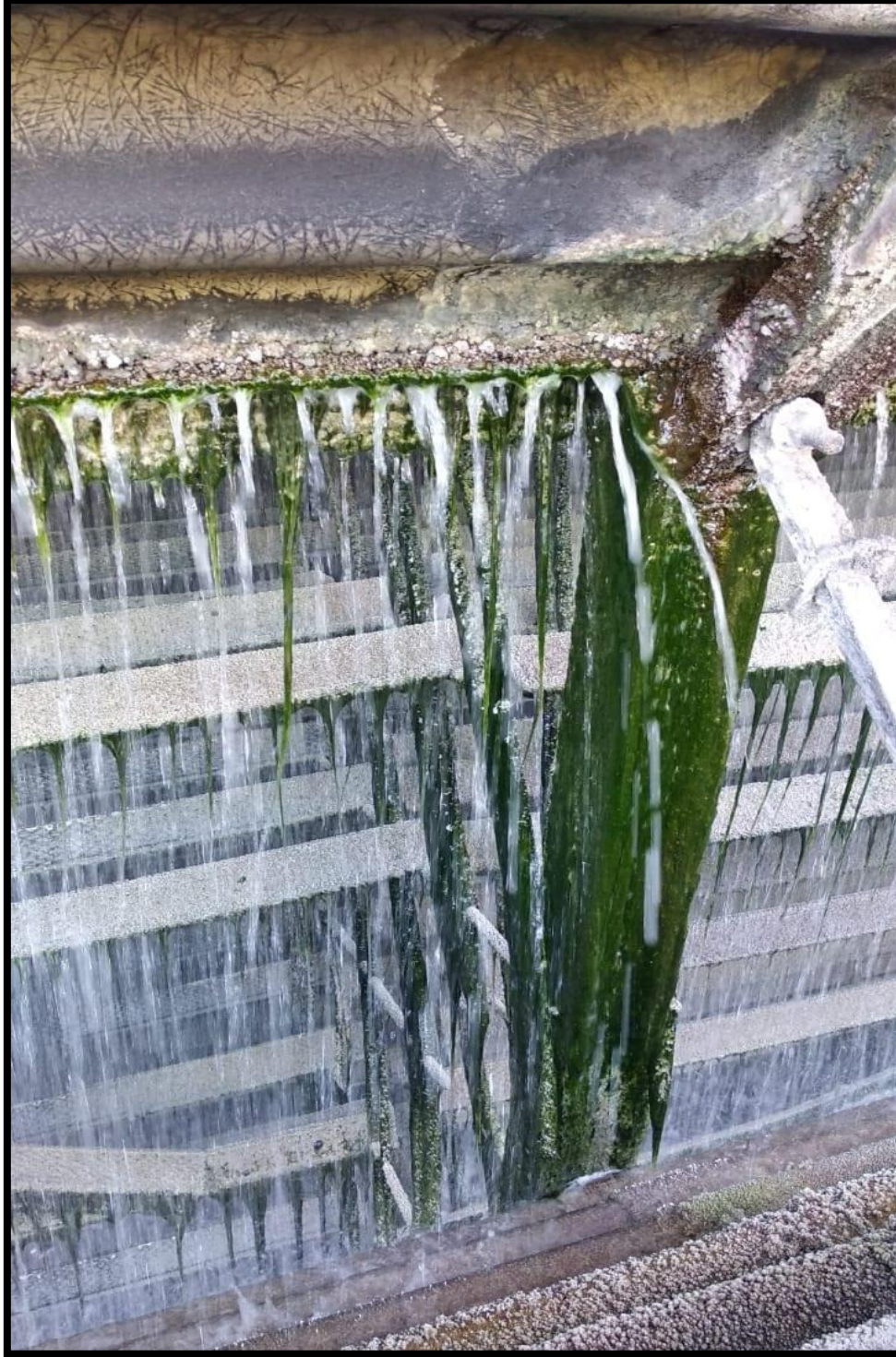
انظر الرسم البياني التالي والذي يوضح أن التوصيلية الحرارية في حالة البايوفاولينج أقل ما يمكن مقارنة بقشور الأملاح المذكورة في الرسم مما يعكس خطورته:



يترتب على النمو البيولوجي امتلاء البرج بالطحالب والطبقة اللزجة الخاصة بالبكتيريا Slim أو الطحالب الميتة التي جاءت من أماكن أخرى ... يؤدي ذلك إلى توزيع غير جيد للمياه في البرج ... يعني يحدث Poor distribution ... بجانب حدوث سد في النوزلات والفلاتر والمصافي screens ... والخشب إذا كان مستخدم في البرج يحدث له تدمير wood decay بسبب النمو الفطري الذي يتغذى على الكربون فيه ... أيضاً يؤدي النمو البيولوجي إلى اختلاف في

تركيزات الأوكسجين عن الطبيعي ... فإذا علا تركيزه لتكاثر الطحالب وعمليات البناء الضوئي أدى إلى زيادة معدلات التآكل.

انظر إلى صورة برج تبريد تكونت عليه الطحالب الخضراء:



ملاحظات على النمو البيولوجي في دوائر التبريد:

- مصدر البكتيريا والكائنات الميكروسكوبية يأتي من مياه التعويض make-up ومن الهواء المحيط ببرج التبريد ... وأيضاً من أماكن التسريبات إن وجدت في النظام ... وبالطبع نستنتج أن المياه المستخدمة في نظام ال once-through

system يعتبر مصدر عظيم للبكتيريا والطحالب ولكن في الحقيقة أن الاستنتاج ليس في محله بل هو أقل الأنظمة في الإصابة بالنمو البيولوجي نظراً لقلّة العناصر المغذية وعدم تركزها كما يحدث في الأنظمة المغلقة وأبراج التبريد.

• الماء الدافئ يعتبر وسط عظيم لنمو هذه الكائنات الدقيقة بجانب وجود الأمونيا والملوثات العضوية والزيوت ... كما أن الرقم الهيدروجيني (6 - 9) مناسب جداً لنمو هذه الكائنات وهذا يقع تقريباً في مدى أبراج التبريد ... ولا يوجد برج تبريد به pH أقل من 6.

• انخفاض معدل سريان المياه water flow يشجع البكتيريا والبايوفولمينج على النمو ... تماماً مثل قشور الأملاح.

• الطحالب تحتاج لأشعة الشمس لذا نجدها على سطح برج التبريد (tower deck) أو حوض التجميع السفلي (Basin) والأماكن المكشوفة ... وليس شرطاً وجود ضوء الشمس المباشر ولكن قطعاً المباشر يحفز نمو الطحالب أكثر وأكثر ... والنمو الطحلي يساعد على نمو البكتيريا الأخرى معه.

• تكون الطحالب سجادة طحلبية خضراء algae mat أو algae slim على السطح والجدران وتعمل على انسداد الفتحات الموجودة وكذلك البكتيريا تكون طبقة لزجة Slim نستطيع الكشف عنها بلمس الجدار أو السطح ... هل اليد تلامس معدن المعدة مباشرة بدون الشعور بلزوجة؟ أو يكون لزجاً بسبب الطبقة البكتيرية؟ هذا إلى جانب شكوي العميل من جهة أخرى.

انظر الطحالب المتكونة في حوض برج التبريد السفلي (Basin):



• مع استمرار نمو البايوفولمينج ... قد نرى تكون "شجيرات صغيرة"! في المنظومة وداخل الأنابيب لعدم اهتمامنا بإضافة البايوسيد! ... هي في الحقيقة تشعب بكتيري ومستعمرات وهذا دائماً يتكرر مع المياه التي تحتوى على مواد مغذية بنسب عالية (واضح في مصانع الأسمدة نتيجة لوفرة المركبات النيتروجينية فيها).

• إذا أردنا الحديث عن أماكن تواجد البكتيريا في دائرة التبريد ... نتخيل الشخص الذي يقوم بعمل بروتوكول المعالجة يأخذ عينة مياه من وسط البرج ويقيس العد البكتيري فيجده على ما يُرام فيذيع الخبر للعميل كي يفرح به ويثنى عليه! طبعاً هذا التصرف خاطئ سواء أكان عمداً أو جهلاً ... ولينتبه الجميع:

هناك بكتيريا تتواجد في وسط المياه وهي البلاكتون الهائمة (plankotonic) ويمثل 5 % من البكتيريا الكلية في المنظومة ... فهي تسبح في الجسد المائي أو ما يسمونه الأجانب Bulk fluid ... وهناك بكتيريا مستقرة على الأسطح (sessile) وتمثل 95% من البكتيريا الكلية ... لذا فإن أخذ العينة من وسط المياه أو من مياه التفوير -blow down لا يعبر عن تواجد ومقدار البايوفاولينج ...

نستنتج أيضاً أنه لو كان هناك عد بكتيري كبير في وسط المياه أو مياه التفوير فإن المصيبة أعظم لأن يمثل فقط 5% من مجموع العد البكتيري الكلي في الدائرة فما بالك بال sessile!

• تتواجد البكتيريا في برج التبريد في حشو البرج tower packing ... أو الأنابيب والمواسير pipes أو الحوض basin في الجزء السفلي من البرج حيث يتراوح ال pH فيه ما بين 8 – 8.3.

• يتم قياس عدد البكتيريا والكشف عنها وعلى البايوفاولينج أثناء التشغيل وليس شرطاً عمل shut down.

• البكتيريا تفرز فضلات حامضية أو تكون أحماضاً من الأمونيا مما يساعد في خفض الرقم الهيدروجيني وبالتالي تسبب التآكل ... ولذلك عملياً يستطيع الخبير معرفة أماكن نمو البكتيريا من خلال قياس ال pH ... يندرج هذا البند تحت عنوان عريض اسمه ال Bio-corrosion.

كما أنها تكون فاولينج من رواسب حديدية iron deposits ... وتفرز طبقة مخاطية slime كما ذكرنا وتلتصق بالمعدة وتقلل ال heat transfer.

كما أن البكتيريا عندما تكون طبقة البايوفيلم فإنها توفر هي نفسها بيئة مناسبة لنمو بكتيريا التآكل وبكتيريا ال Legionella التي تسبب مشاكل في الجهاز التنفسي وسنتحدث عنها في مناقشة منفصلة!

المهندس سامر نادر الأسدي:

جزء من الترسبات والبايوفاولينج في حوض التجميع ومصافي مضخات السحب:



المهندس أيمن موسيليني عارف:

بالرغم من وجود تطهير جيد للمياه داخل البرج إلا أنه لا تزال هناك مشكلة معضلة في نمو الطحالب على الخشب في منطقة خروج الهواء بعد الدريفت المونيتور Drift eliminator حيث يخرج الهواء المشبع بالمياه ... وأيضاً الهواء الصاعد المشبع بالمياه يكون خالي من الأملاح ونراه يحدث تآكل في المسامير وعلى الشاسيه الحامل للجيربوكس وهذا يتطلب عمل صيانة دورية خاصة لهذه المنطقة من البرج لأن إهمالها قد يسبب كوارث مع الوقت ... وأنصح الزملاء أن يتابعوا هذه المنطقة جيداً...





وهذه صور لشاسيه الجيربوكس والمسامير:



المهندس أحمد محمد محمود:

وهذا جدول يوضح تقسيم الكائنات الحية الدقيقة والأنواع وتوصيفها وأهم المشاكل التي تسببها والتي من المحتمل تواجدها في مياه التبريد:

PRINCIPAL CLASSES OF TROUBLESOME MICROORGANISMS			
CLASSIFICATIONS		DESCRIPTION	COMMON PROBLEMS
BACTERIA			
Filamentous			
Sulfur depositing	<i>Streptomyces</i>	Stringy, slippery, gray or gray-green	Fouling
Iron depositing			
Corrosive			
<i>Desulfovibrio</i>	<i>Clostridium</i> (spore forming)	Black granular appearance glows beneath slime or deposit	Corrosion Formation of gases
Non-Spore forming			
<i>Flavo bacterium</i>	<i>Achromobacter</i>	Gelatinous, flocculant substance resembling mucus, may be colored	Fouling Formation of gases Protect corrosive bacteria
<i>Alcaligenes</i>	<i>Aerobacter</i>		
<i>Pseudomonas</i>	Mucoids		
Spore forming			
<i>B. subtilis</i>	<i>B. megatherium</i>	Gelatinous, may be stringy, rope like, may be colored.	Fouling Protect corrosive bacteria
<i>B. cereus</i>	<i>B. mycoides</i>		
Pathogenic			
<i>Legionella</i>		Live inside protozoa. Proliferate in dirty systems	Can cause a pneumonia-like illness in susceptible individuals
FUNGI (Spore forming)			
Molds			
<i>Aspergillus</i>	<i>Cladosporium</i>	Stringy, fluffy or matted, normally colorless but may be green	Wood decay Formation of corrosion cells Fouling
<i>Penicillium</i>	<i>Mucon</i>		
<i>Trichoderma</i>			
YEASTS			
<i>Monilia</i>	<i>Endomyces</i>	Leathery, rubbery or resembling mucus, may be colored or colorless	Formation of corrosion cells Fouling
<i>Oospora</i>	<i>Rhodotorule</i>		
<i>Torula</i>			
ALGAE			
<i>Chroococcus</i>	<i>Ulothrix</i>	Loose slimy or rubbery green or blue-green, found only in sunlight.	Fouling Protect corrosive bacteria
<i>Oscillatoria</i>	<i>Navicula</i>		
<i>Chlorococcus</i>	<i>Fragilaria</i>		

كلام في البكتيريا!

تنقسم البكتيريا في العموم إلى عائلتان كبيرتان ... بكتيريا هوائية **aerobic** في المياه التي تحتوى على أكسجين وبكتيريا لا هوائية **anaerobic** الخالية من الأوكسجين ... والنوع الثاني يصعب تواجده في أبراج التبريد نظراً للتهوية العالية في المنظومة ولكن تظهر أحياناً في الـ **Dead zone** أو الأماكن الميتة البعيدة عن تيار الهواء أو الأماكن تحت الرواسب **Under deposits** أو في أدغال الطبقة الجيلاتينية **slime**.

بكتيريا الكبريت **Sulphur bacteria**

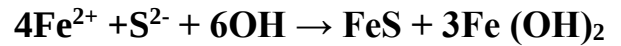
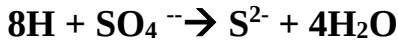
وبكتيريا اختزال الكبريتات **Sulphate reducing bacteria**!

توجد منها أنواع في الوسط الهوائي مثل الـ **Thiobacillus** والتي تؤكسد كل مركبات الكبريت وتحولها إلى حمض الكبريتيك والذي يسبب تآكل بالطبع للحديد وغيره.



وفي الوسط الغير هوائي تنشط بكتيريا اختزال الكبريتات **sulphate reducer bacteria** لتنتزع الأوكسجين وتعطي جزء منه لبكتيريا الكبريت فتتشجع عندما تجد الأوكسجين في هذه البيئة الفقيرة به ... ولذلك قد يتكون حمض الكبريتيك بين الـ **heavy slime** والبيئة اللاهوائية نتيجة لوجود بكتيريا اختزال الكبريتات وبكتيريا الكبريت.

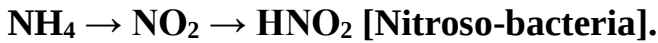
أيضاً في الوسط اللاهوائي فإن بكتيريا اختزال الكبريتات من نوع الـ *Desulfovibrio* تشجع الحديد على الترسيب بواسطة السلفايد ... حيث يتكون السلفايد في منطقة الكاثود والتي تسبب تآكل الحديد فيما يُعرف بالـ *Pitting* أو الـ *under deposit corrosion* والمعروفة ظهورها تحت الـ *slime* :



بكتيريا النيترة *Nitrifying bacteria*

وبكتيريا إزالة النيترة *Denitrifying bacteria*

في مصانع الأسمدة وغيرها حيث يرتفع تركيز الأمونيا NH_4 ... تظهر بكتيريا النيترة لتؤكسد الأمونيا إلى نيتريت ثم إلى HNO_2 لو كانت البكتيريا من نوع الـ *Nitrozo* أو تتحول إلى نترات ثم حمض النيتريك لو كانت *Nitro bacteria* وكلا النتيجتين تسبب انخفاض في الـ pH والتآكل.



الخطورة التي تحدث هي أن هذه البكتيريا تستهلك نيتريت الصوديوم *Sodium nitrite* الذي يُضاف للدوائر المغلقة لمنع التآكل.

البكتيريا اللاهوائية المسببة للتآكل *Anaerobic corrosive bacteria*:

البكتيريا اللاهوائية تنتج الغاز الكريه المسمى بكبريتيد الهيدروجين H_2S المسبب للتآكل لبعض المعادن من نوع الـ *Pitting*.

بكتيريا الحديد *Iron bacteria*:

نوع من البكتيريا تتواجد في المياه التي تحتوي على حديد ذائب في صورة *ferrous hydroxide* وتؤكسده إلى *ferric hydroxide* ليترسب ... وتفعل نفس الشئ مع المنجنيز ... مثال لذلك بكتيريا الـ *Gallionella*.

المهندس أيمن موسى عارف:

في مصانع الأسمدة تقابلنا مشكلة الأمونيا ومن ثم تكون النترات وتكون حمض النيتريك وهذا يكون تأثيره على خفض الـ pH وانخفاض *m-Alkalinity* بصورة كبيرة ... وأحياناً يتم العلاج بزيادة جرعة الكلور وفي أغلب مصانع الأسمدة منظومة حقن الكلور تكون غاز ... فبالطبع يتم زيادة جرعة الكلور للتخلص من الأمونيا والقضاء على البكتيريا ولكن للأسف مع زيادة جرعة الحقن تنهار القلوية تماماً وتنخفض الـ pH أكثر وأكثر نتيجة تكون *HCl* نتيجة حقن الكلور الغاز ... لذا يُفضل عند تلوث الدائرة أن يتم حقن كلور سائل صوديوم هيبوكلورايت حيث يقوم بتطهير الدائرة وأيضاً يساعد على رفع pH وزيادة القلوية.

ما هي العوامل التي تؤثر على النمو البكتيري؟

1. درجة الحرارة: الحرارة كلما زادت عن الحد الطبيعي أدى ذلك لتطاير الأوكسجين الذائب في الماء (لا نجد بكتيريا ولا كائنات ميكروسكوبية تقريباً فوق الـ 60 درجة مئوية أو في بعض الكتب 65 درجة مئوية) ... وأما الدرجة الصغرى فتصل إلى 4.4 درجة مئوية.
2. الأس الهيدروجيني pH المناسب بين 9 – 6 كما قلنا.
3. الأوكسجين الذائب: إذا زاد زاد النمو البيولوجي.
4. ضوء الشمس: كلما ازداد زاد النمو البيولوجي (نجد ذلك واضحاً في ظهور طبقات الطحالب الخضراء المعرضة لأشعة الشمس المباشرة وغير المباشرة).
5. الرطوبة humidity: كلما زادت الرطوبة وبلل السطح زاد من نمو البايوفولمينج.
6. العكارة turbidity: كلما زادت زاد النمو البيولوجي وشجعه.
7. معدل السريان Flow rate: إذا زاد قل النمو البيولوجي لإحداثه عدم استقراره.
8. تركيز المواد المغذية Nutrients: (مثل مركبات النيتروجين والفوسفور والمواد العضوية التي تحتوي على الكربون).
9. درجة الالتصاق بالسطح slime adhesion degree: كلما زادت درجة الالتصاق وتكون الـ slime شجعت المزيد من البكتيريا على الالتصاق والنمو ... وكلما كبر حجم الـ slime زاد البايوفولمينج.

المهندس سلمان الفارسي:

العوامل المؤثرة على النمو البكتيري في الأبراج:-

- 1- المواد الصلبة العالقة.
- 2- سرعة المياه.

تعقيب المهندس أيمن موسىليني عارف:

أحسننت ... وجود مواد صلبة عالقة في المياه بقيمة كبيرة يقلل كفاءة التطهير حيث يمنع أو يقلل وصول الكلور للبكتيريا بصورة كاملة ولذا يجب عمل فلتر لجزء من مياه الدائرة في حدود 5%.

المهندس عباس طاهر صالح:

- العوامل التي تؤثر على النمو البكتيري: درجة الحرارة: من 70 – 140 فهرنهايت ... إذا زادت عن ذلك لا يؤدي إلى نمو بكتيري وذلك لأن الأكسجين الموجود في الماء يتطاير فيما فوق هذه الدرجة.
- 1- pH: من 6-9 إذا قلت عن ذلك يؤدي إلى نمو بكتيري.
 - 2- الأوكسجين الذائب.
 - 3- العكارة Turbidity.
 - 4- ضوء الشمس.
 - 5- معدل السريان flow rate.

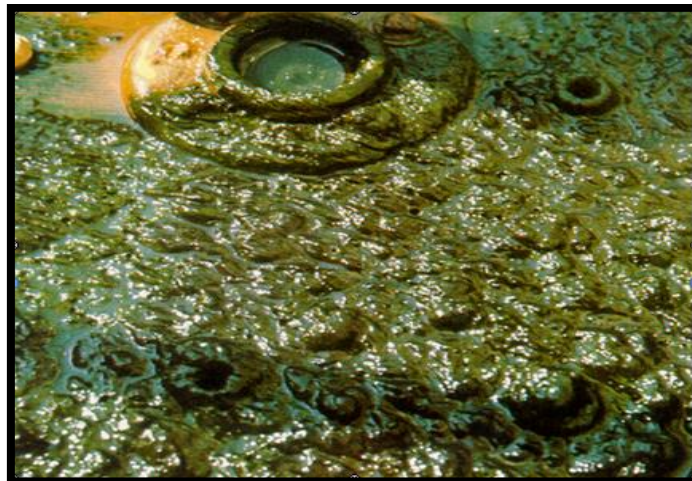
ويوجد ثلاثة أنواع من النمو البكتيري في أبراج التبريد:

- 1- Bacteria (Produce acidic waste that lowers pH and cause corrosion - produce large volume of iron deposits fouling - produce acid from ammonia that increase corrosion and lower pH and reduced heat transfer.
- 2- Algae: require sunlight to grow- found on tower decks - form algae mats - Provide food for other organisms - Plug screens /fouling equipment.
- 3-Fungi: Used carbon in wood fibers for food - Destroy tower lumber by either surface - Loss of structural integrity tower.

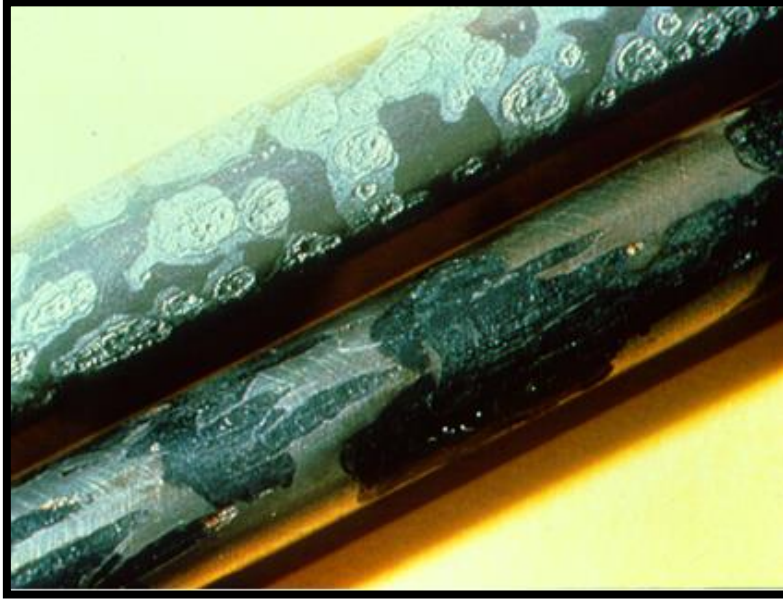
[نلاحظ ونكرر أن كل المشاكل التي تحدث في برج التبريد تؤثر على بعضها البعض فمثلاً زيادة الـ nitrite reducing bacteria يسبب التآكل بطريقة غير مباشرة أو بطريقة مباشرة عند تزايد أعداد بكتيريا التآكل ... كما أن التآكل بدوره يزيد من مشكلة الـ fouling وتوفير المواد الغذائية (nutrients) للكائنات الحية ... وترسب القشور يعتبر بيئة مناسبة للـ Biofouling ... والتآكل يسبب تكون قشور الـ iron oxide وهكذا].

تلوث الهواء أحياناً يزيد النمو البيولوجي كما يحدث في شركات الأسمدة التي تظهر الأمونيا في الهواء الجوي المحيط وتدخل مع الهواء إلى البرج وتختلط بالماء فتزيد نمو الكائنات الميكروسكوبية نظراً لأنها من المواد المغذية Nutrients ... تتأكسد الأمونيا إلى نيتريت NO_2 ثم إلى نترات NO_3 والتي تتحول مع جزيء الماء إلى حمض نيتريك HNO_3 فتقل الـ pH داخل برج التبريد ... ولذلك إذا ظهر النيتريت يجب عمل تفوير بأكثر كمية ممكنة والتعويض بمياه جديدة ... ولو كان هناك حقن كلور فيجب وقفه فوراً لأنه يكون مواد مسرطنة تسمى الكلورامين ... كما أن الكلور لو تم حقنه مع هذه المتغيرات فإنه يحدث وأن يستهلك غالبية هذه المواد ولا تتركز جهوده في مكافحة البكتيريا.

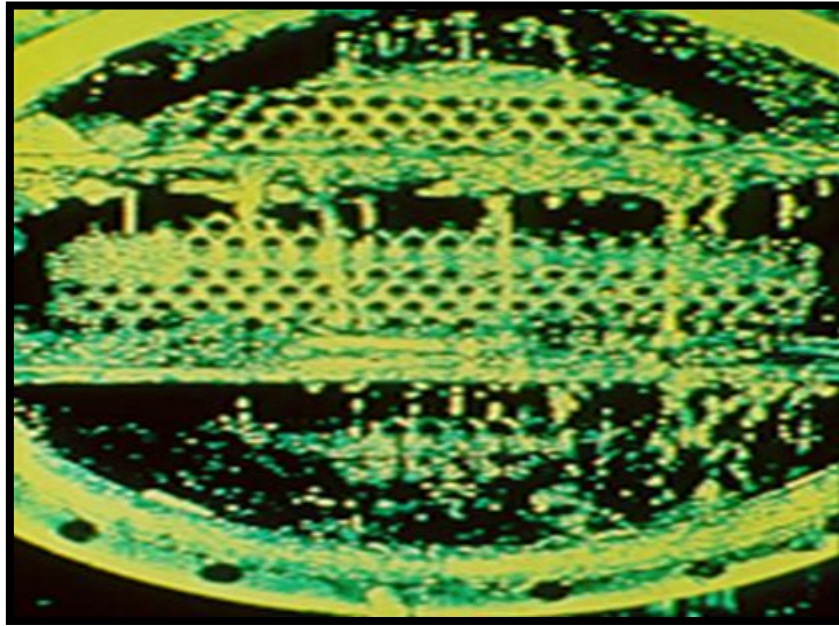
والحل الأمثل والذي تلجأ إليه شركات الأسمدة هو استبدال الكلور بالبروم كما سنتحدث بعد ذلك. وإليك صور توضيحية للنمو البيولوجي في أنظمة التبريد (طحالب متكونة على سطح برج التبريد):



تآكل ناتج عن النشاط البكتيري :Micro-biological corrosion



مواد بكتيرية متكونة داخل مبادل حرارى:



المهندس شُعيب محمود شعبان:

الملوثات في مياه أبراج التبريد:

المياه التي يتم تطبيقها في أبراج التبريد ... حتى عندما يتعلق هذا ماء الصنبور... وغالباً ما يحتوي على أملاح (مثل الكلور والكبريتات والكربونات) والغازات الذائبة (مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون) وأيونات المعادن (مثل الحديد و المنغنيز) ... وجود هذه الملوثات يمكن أن يُسبب مجموعة من المشاكل ... المشاكل الرئيسية التي تنتج ... هي قاذورات ... وتشكيل الحجر الجيري والنمو البيولوجي والتآكل ... الملوثات التي تعتمد على التبريد الحاضر مواد بناء البرج ... كذلك يتم بناء أبراج التبريد من الخرسانة والخشب والبلاستيك أو الفوقية.

الكائنات الحية الدقيقة:

البكتيريا والكائنات الحية المسببة للأمراض الأخرى الصغيرة موجودة في كل مكان في جميع أنحاء البيئة ... إنها كثيراً ما يمكن العثور عليها في مياه برج التبريد ... عندما تحتوي أبراج التبريد نظام تدوير المياه المفتوحة ... يمكن أن تنتشر الكائنات الدقيقة من الهواء إلى الماء ... يمكن للكائنات الحية الدقيقة أن تتكاثر بسرعة ... عندما ركيزة موجودة وعدد من الشروط هي مثالية لنمو الجراثيم. ومن الأمثلة على ذلك درجة الحموضة ودرجة الحرارة وتركيز الأوكسجين والمواد المغذية ... محتوى المغذيات في الماء يزيد بسبب تبخر المياه ... تسريبات العملية واستخدام المياه يمكن أيضاً أن يسبب زيادة محتوى المغذيات في الماء ويمكن أن يسبب هذا مشاكل.

طبقة حيوية:

عندما يأخذ النمو الميكروبي كبير مكان ... وشكلت طبقة الوحل ... هذه المسألة يحتوي على حد سواء العضوية وغير العضوية بعض الكائنات الحية الدقيقة تفرز البوليمرات ... والتي يمكن أن تشكل شبكة هلامية حول الخلايا بعد التحلل تأخذ مكان يُسمى طبقة حيوية ... نتيجة لتشكيل فيلم الحيوي يمكن أن تلتصق الكائنات الدقيقة بالطبقات السطحية ... هذا يؤدي إلى أن الكائنات الدقيقة لم يعد يتم مسحها بعيداً عن طريق مياه برج التبريد ... فالأفلام الحيوية تعمل كحماية للكائنات الحية الدقيقة من الكائنات الدقيقة الأخرى ... يحتوي الفيلم الحيوي - الذي هو لزج جداً - على المواد العضوية وغير العضوية الموجودة في الماء ويمتص بواسطة الفيلم ... هذه المخاوف تسبب الترسيب الكيميائي والرقائق العضوية وكتلة الخلايا الميتة ... يتكون الفيلم الحيوي من المياه بنسبة 90٪ ... والطبقة الحيوية تسبب عدداً من المشاكل ... مع العلم: ضمن طبقة الوحل الكائنات الحية الدقيقة المحمية يمكن أن يسبب التآكل السريع ... مما تسبب تآكل في جدران أبراج التبريد ونظم تبادل الحرارة ... الفيلم الحيوي يمنع المواد التي تسبب الحماية من التآكل من الوصول إلى السطح ... وعلاوة على ذلك ... يمكن أن ردود الفعل الميكروبيولوجية هو تسريع تفاعلات التآكل كما أن المنتجات الميكروبية يمكن أن تسبب تآكل المواد.

فيلم الحيوي يخلق طبقة عازلة على أنظمة التبادل الحراري ... مما يجعل وظيفتها لم تعد تعمل بشكل صحيح ... والكائنات الدقيقة الموجودة في الفيلم الحيوي تسرع امتصاص الأوكسجين ... يمكن أن يسبب هذا نقص الأوكسجين في النظام بعض الكائنات الحية الدقيقة تقوم بالتخمير الأيضي وإنتاج عدد من الأحماض العضوية والذي تسبب انخفاضاً في درجة الحموضة ... البكتيريا اللاهوائية تشكل مشتقات الكبريتيد والتي هي قابلة للتآكل.

المهندس شريف محمد حسن:

في نوع من الBacteria يُسمى facultative يعمل في ظروف aerobic and anaerobic.

المهندس مدحت سعيد خليفة أمدنا بالجدول التالي:

CLASSIFICATIONS	DESCRIPTION	COMMON PROBLEMS
BACTERIA		
Aerobic Slime-Forming Pseudomonas Pigmented Mucoids Aerobacter	Sticky, gooey, masses usually colored by suspended solids or corrosion products.	Fouling. Produces conditions for anaerobic corrosive bacteria. Produces acids and gases. Reduces heat transfer efficiency.
Anaerobic Corrosive Desulfovibrio Clostridium Facultative	Black appearance. Rotten egg odor (H ₂ S). Grow best under slime or other deposits and in low-flow areas.	Corrosion. pH reduction.
Iron-Depositing Sphaerotilus Gallionella	Sphaerotilus can be white or rust-colored, whereas Gallionella is always rusty. Stringy, slippery; often forms voluminous red deposits.	Insoluble iron deposits in cooling system.
Nitrifiers	Produce acids in NH ₃ contaminated systems.	pH reduction. Corrosion.
FUNGI		
Molds Aspergillus Penicillium Trichoderma	Stringy, gooey, masses typically on wooden areas. Usually white or colored by system contamination.	Wood decay and fouling.
Yeast Types Torula Rhodotorula	Leathery or rubbery; resembling mucus.	Fouling.
ALGAE Oscillatoria Chlorococcus	Found living only in sunlight or source of light. Loose, slimy, rubbery. Often green or brown.	Plugging of distribution deck holes.

ما هو ال Macro fouling؟

يوجد أيضاً نوع من الفاولينج البيولوجي يُسمى الفاولينج الكبير أو ال Macro fouling ... وهو عبارة عن كائنات حية كبيرة مثل الصدفيات وبلح البحر وغيرها من الكائنات المائية الكبيرة والتي تلتصق بالمواسير من الداخل وتسدها وتسبب تقلص في معدل سريان المياه وتزيد نسبة التآكل ... يظهر ذلك واضحاً في النوع الذي تحدثنا عنه وهو ال once through cooling system وبالأخص عندما يكون مصدر المياه من البحر.

بقي لنا الآن نقاش حول الفاولينج بالمواد الغير حية وبعدها ندخل في خطط وبروتوكولات المعالجة.

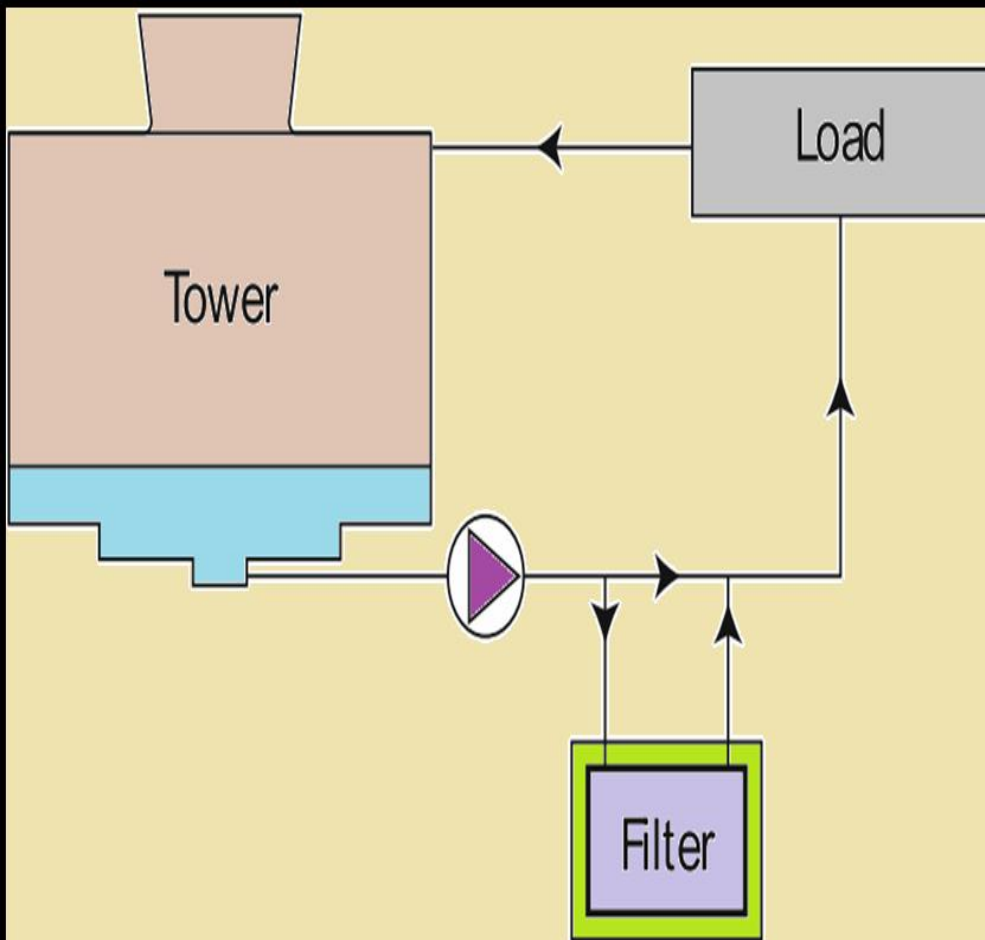


WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

17

الفاولينج الغير
بيولوجي في
دوائر التبريد!!



Side stream filtration

النقاش السابع عشر :**17- الفاولينج الغير بيولوجي في دوائر التبريد!!**

توجد أيضاً أنواع أخرى من الفاولينج الغير بيولوجي لا دخل للكائنات الحية فيه! أغلب أبراج التبريد مفتوحة والهواء الذي يدخل عليها طبيعياً أو بشفط المراوح يكون محملاً بالغبار والأتربة وغيرها air-borne contaminants ... ويتجمع ليكون فاولينج من المواد العالقة Suspended solids فضلاً عن زيادة العكارة turbidity وهي سبب رئيسي في انسداد الحشو ... يزيد بدرجة ملحوظة مع العواصف الترابية ... وتصبح صدفة عظيمة إذا كانت بجانب مصنع للأسمنت مثلاً! فإذا دخلت هذه الجزيئات المنظومة وصادفت أسطح لزجة مثلاً بسبب النمو البكتيري فإنها تلتصق به بقوة ... كما أنها تسبب فاولينج على المبادل الحراري فتتخفص كفاءته ... كما تؤثر على كفاءة الكيماويات والبايوسيد كما تتأثر عدد دورات التركيز فنضطر إلى تقليلها.

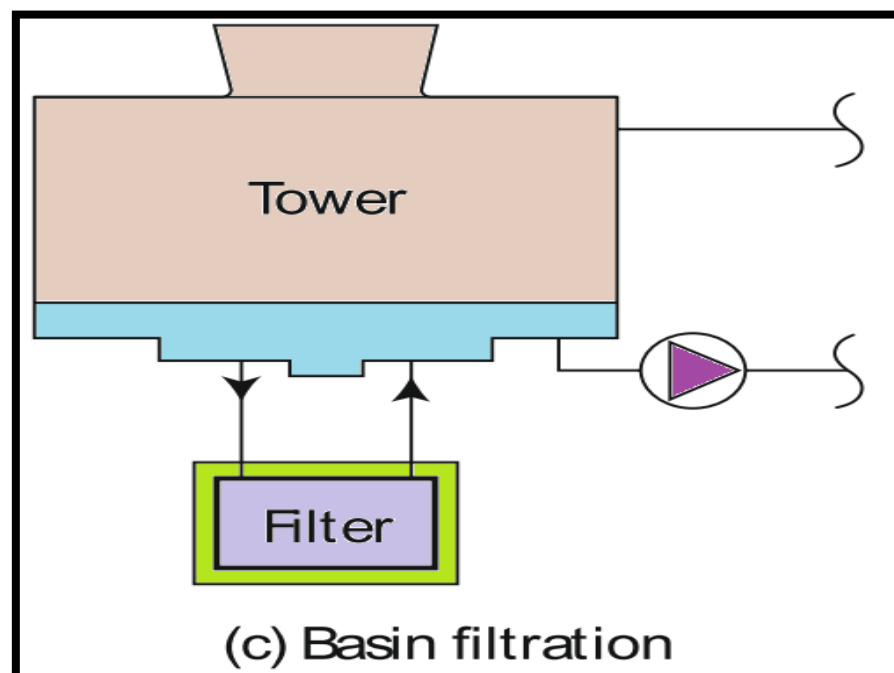
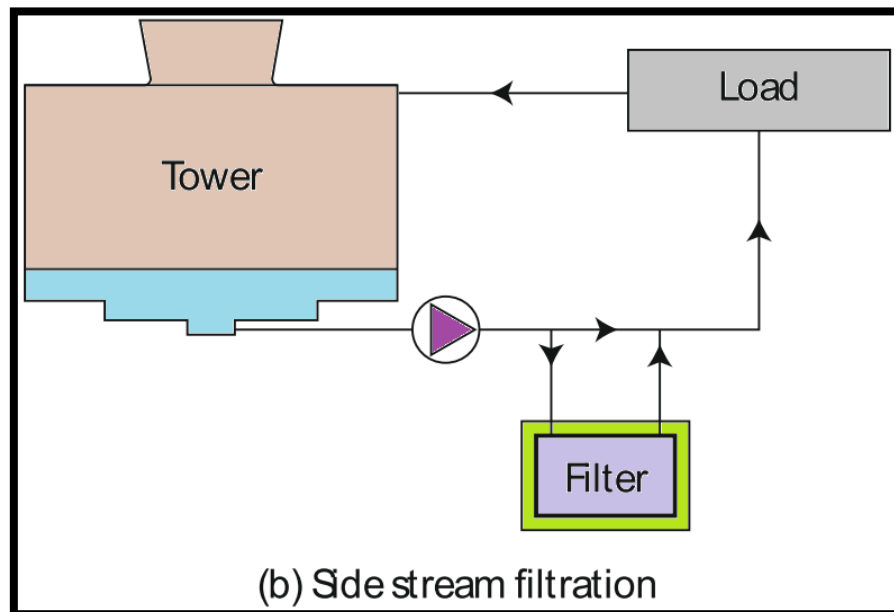
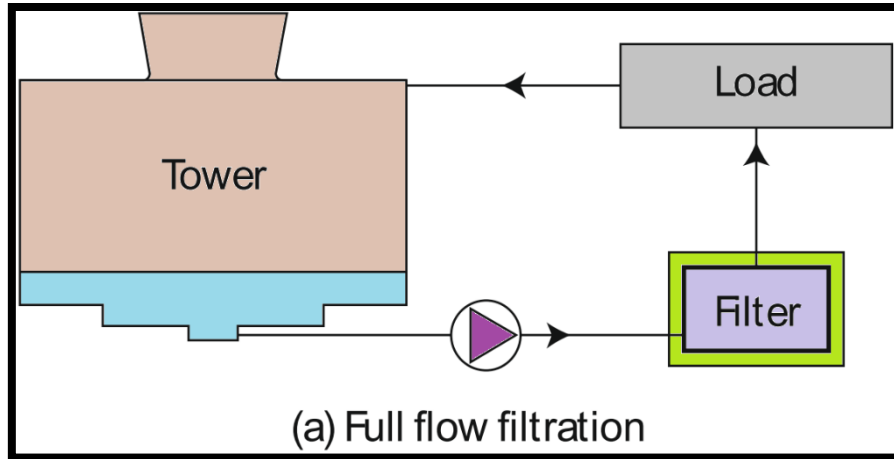
بالتجربة العملية يُفضل أن تكون العكارة لا تتعدى 2 - 3 NTU.

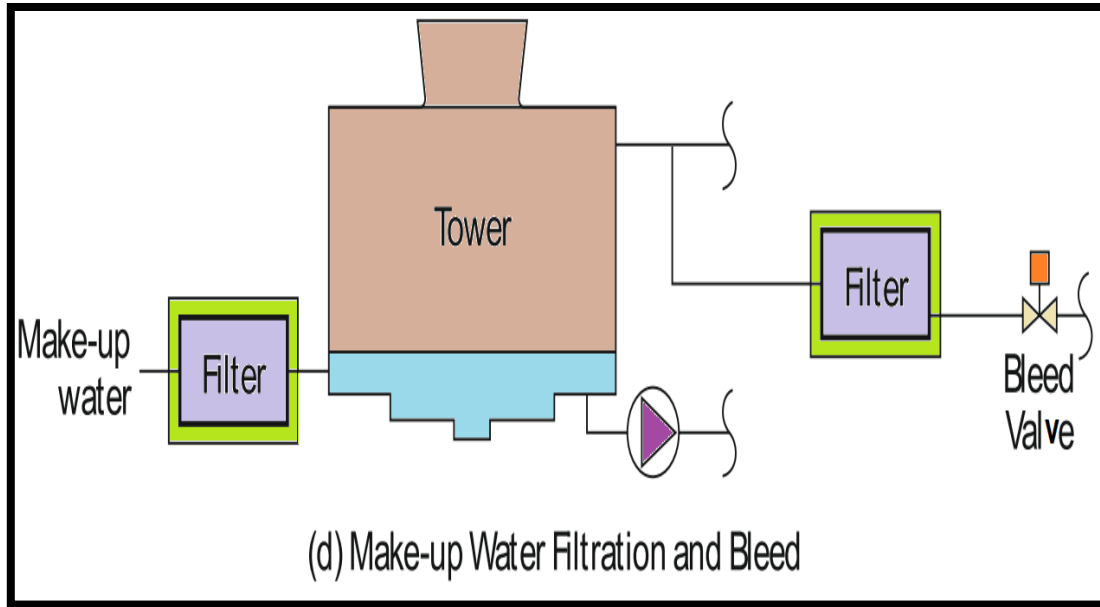
لمقاومة هذه الملوثات سواء أكانت في مياه التغذية أو كانت آتية من الهواء من الممكن وضع فلاتر رملية Sand filter أو فلاتر مالتيميديا أو فلاتر كارتريديج أو النوعين معاً ... مكان وضع الفلاتر يختلف من تصميم لآخر وتبعاً لمصدر الملوثات ... إما أن يوضع على الخط in-line بعد الخروج من القاع basin قبل إعادة دورانه في الدائرة ... أو يوضع في وضع جانبي Side stream بخط By-pass ... أو يقوم بفلتر المياه في حوض البرج واعادتها إليه ... أو يتم وضع فلترين الأول للـ make-up إذا كانت عكارتها عالية ويشترط مراعاة حجم الفلتر مع كمية التعويض والثاني لمياه التفوير قبل بلف التفوير لحمايته من الإنسداد ... اختيارات عديدة تخضع للزميل المُشغل.

نعم ... يُنصح بوضع فلتر قبل بلف التفوير أو وضع مصفاة strainer للحفاظ عليه من السدد والتأكد من سير عملية التفوير على ما يُرام Bleed water line filtration.

الفلتر الجانبي bypass (أو Side stream filter) هو الآخر يعمل على تنقية 5 - 10% في المتوسط من الـ Circulation rate ... يعني حوالي عشر حجم المياه في الدائرة ... وأبراج التبريد - إذا تطلب الأمر - يتم ادخال كل المياه على الفلتر وليس فقط 10% ...

كل ما قيل نستطيع أن نراه في الصور التوضيحية التالية:





ثرثرة حول الفاولينج الغير بيولوجي!:

- 1- إذا كانت العكارة كبيرة كما يحدث في بعض المياه السطحية ... فيتم اللجوء إلى عمل مروقات قبل الفلتر الرملي ... وإذا كانت العكارة أكبر وأكبر لجأتنا إلى المروقات مع أحواض الترسيب بناءً على نظرة الخبير وطبيعة مياه التغذية.
- 2- المواد الغروية عند ارتفاع درجة حرارة المياه (بالأخص في المبادل الحراري) تتجمع وتميل لتكوين طبقة على سطح المبادل وتؤثر على الانتقال الحراري ... لونها يتنوع بين الرمادي والأسود والبني المحمر تبعاً لطبيعة التركيب الكيميائي للفاولينج ... وبما أنها تعتبر مواد مغذية Nutrients فهي بالفعل مكاناً مشجعاً لنمو الطحالب والبكتيريا.
- 3- المواد العضوية وغير العضوية الغروية colloidal والمعلقة suspended من الرمال والطين والحديد والزيوت وما يكون مصدره من عملية الفوران التي تحدث من ال clarifier أو السوفتترات هي مصادر للفاولينج الغير بيولوجي ... نستخدم هنا المروقات clarifiers وكلما كانت كفاءتها أعلى قل إمكانية حدوث هذه الأنواع من الفاولينج ... وهي تقوم بتنقية مياه التعويض قبل الدخول على النظام.
- 4- أيضاً هناك ومصادر داخلية للفاولينج تتمثل في المنتجات الثانوية By-products الناتجة من عمليات التآكل.
- 5- من الممكن إضافة Filter aid مع الفلاتر وهو مركب كيميائي غالباً ما يكون بوليمر عضوي كاتيوني يجمع الجزيئات العالقة فتكبر حجمها ويتم حجزها في الفلتر ولا تمر من خلاله.
- 6- من الممكن أن يتم حقن المياه الداخلة إلى برج التبريد بما يُسمى Anti-foulant خاص بالطيني silt والزيوت oil والحديد.
- 7- يُمكن استخدام فلتر الباج bag filter للمساعدة في التخلص من عكارة الدائرة.

8- من أهم العوامل المقاومة لظهور الفاولينج المحافظة على عمل النظافة اليدوية لحوض البرج لأن ال sludge الموجود في حوض البرج سبب رئيسي في معظم مشاكل البرج. كفانا مشاكل ولنشرع في الحلول ووضع بروتوكولات وبرامج المعالجة!

تعقيب الدكتور أحمد أنور أحمد:

أحسنت ... أحيانا يظن البعض أن التحجر الموجود في المبادلات والمكثفات ناتج من التكلس بسبب ضعف مادة مانع الترسيب ... ولا يدري بأنه إذا اهتم بالمعالجة الأولية وأزال الفاولينج فإنه قد لا يحتاج إلى مانع ترسيب من الأساس أو على الأقل يحتاج منه كميات قليلة جداً لأن مانع الترسيب يفقد جزء كبير جداً منه مع الفاولينج. والفاولينج يكون معظمه من نفس أملاح ال TDS ولكن وصلت لحالة التشبع وبالتالي قلت فرصة ذوبانه وتبلر (حدث له crystallization) وأصبحت حجم البلورات من القدر المناسب لإزالته بالفلتر ... لكن باقى الأملاح الذائبة داخل ال TDS تمر من الفلتر مع الماء وهى ما يحدث لها تكلس (خاصة أغلب أملاح الكالسيوم والماغنسيوم).

المهندس أيمن موسيليني عارف:

الفلتر الرملية تحتاج إلى تطهير بتركيزات تصل إلى 80 جزء في المليون عن طريق النقع بالكلور لمدة 12 ساعة من وقت لآخر حتى لا تتكون مستعمرات من البكتريا داخل الفلاتر ... ومهما كانت كفاءة الفلتر فمع الوقت والتراكم ... يحصل ترسبات في أحواض البرج ... فلا بد من إزالتها يدوياً وليكن في العمرات السنوية مثلاً ... وأيضاً يُفضل عمل strainer على مُجمع خروج الفلاتر له نفس قطر النازل داخل الفلتر تحسباً لخروج ميديا من الفلاتر بسبب كسر للنزول وهذا حدث بالفعل ووصل الرمل إلى داخل المبادلات.

والمفترض يكون فيه دلتا بي علي ال strainer كي تُعرفنا بوجود هروب ميديا من عدمه ... ويتم متابعة فرق الضغط عليه ... وحتى لو تراكمت الميديا في الخط سهل إخراجها وإعادتها للفلتر لكن دخولها في البرج قد يتسبب في وصول الميديا للمبادلات.

وهناك بعض الشركات تقوم بعمل تيسير للمياه بإضافة الكالسيوم هيدروكسيد داخل المروقات ونتيجة ارتفاع ال pH في المروق يحدث ترسبات على الفلاتر الرملية بعد المروق مما يؤدي إلى زيادة حجم الرمل ومن ثم انخفاض كفاءة الفلتر وارتفاع العكارة بعد الفلاتر وتكون ترسبات كبيرة في الخزانات وفي أحواض أبراج التبريد ... ويكون الحل إما تغيير الميديا أو غسيل الميديا بحمض في حال عزل الفلتر إيبوكسي ... وعمل كنترول جيد على حالة المروق من حيث ضبط جرعات الحقن ومعدل سحب الرواسب وسرعة التقلب لأن إهمال هذا يؤدي إلى ارتفاع العكارة بعد المروق أكثر من دخول المروق!

المهندس نادر النجار:

لا ينصح بزيادة ال suspended solids في أبراج التبريد عن 20 جزء في المليون. إذا كانت العكارة عالية ممكن استخدام dispersant وذلك لمنع تجمعها على المبادلات.

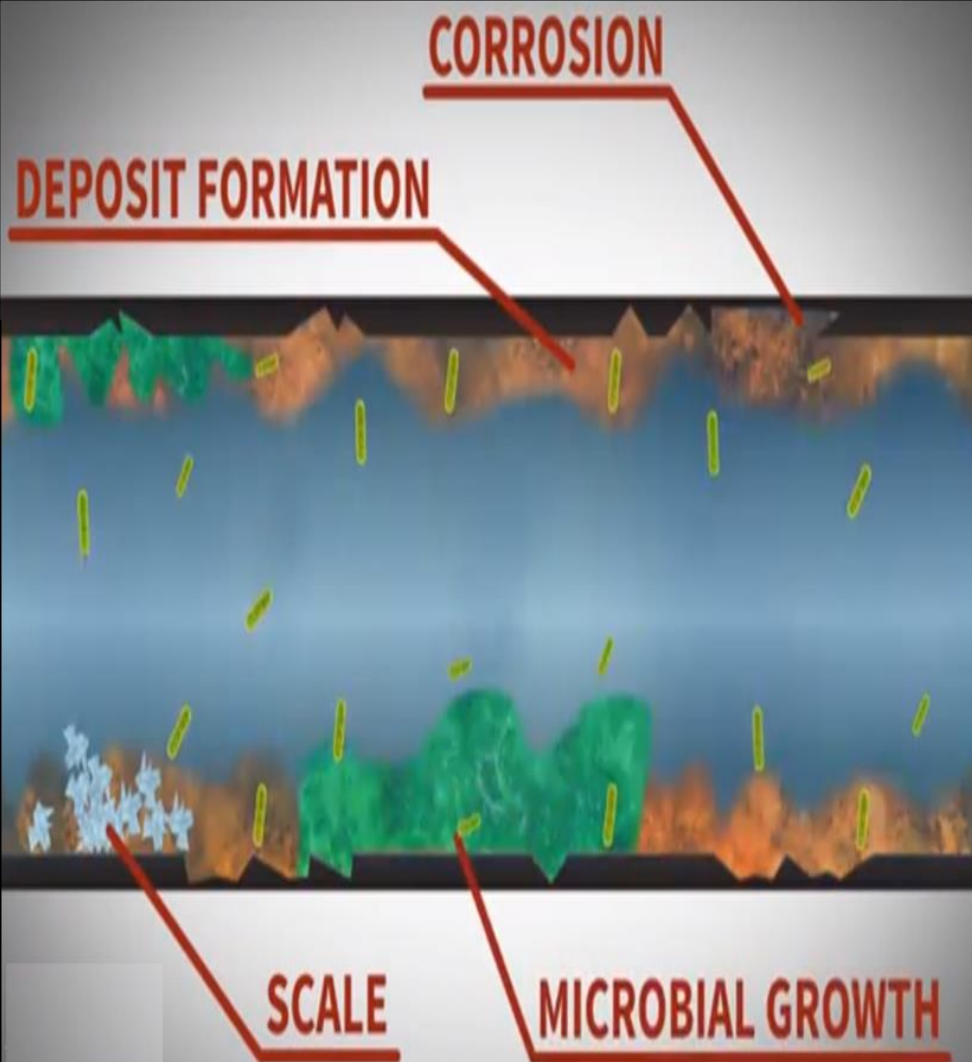


WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

18

بروتوكول
معالجة المياه
في دوائر
وأبراج التبريد!!



النقاش الثامن عشر:-**18- (بروتوكول) معالجة المياه في دوائر وأبراج التبريد!!**

في هذا المقام سنضع إشارات هامة وأساسية على الطريق لفهم فلسفة التعامل مع دوائر وأبراج التبريد حتى نبتعد عن الأخطار التي تحدثنا عنها فيما سبق ... وقبل أن نخوض في هذا البحر الواسع ... نسأل لماذا نلجأ إلى معالجة مياه التبريد؟؟ هل هي رفاهية؟ هل هي تكاليف زائدة خاصة أنه لا يلعب دوراً مباشراً في إنتاج المصنع أو الوحدة أو كما يبدو للبعض؟

ما هو الغرض من معالجة مياه التبريد؟

مياه التبريد إن لم يتم عمل معالجة لها فإننا سنضطر إلى عمل صيانات كثيرة للمبادلات الحرارية heat exchanger أو المكثفات condenser وغيرها من المعدات أو نضطر إلى تغييرها بالكلفة نظراً لما ستعرض له من التآكل وتراكم قشور الأملاح والبايوفوللينج ... مما يتسبب في رفع التكاليف ... هذا إلا جانب توقف المنع أو الوحدة عدة مرات لعمل الصيانة والغسيل مما يقلل الإنتاج ... واستخدام المزيد من الطاقة لأن كفاءة التبريد تقل مما يؤدي إلى انبعاثات green house gases والتي تؤثر على البيئة!

أضف إلى ذلك أن المعالجة الكيميائية تحافظ على مادة بناء جسم البرج ودائرة التبريد فمثلاً الخشب إن تم استخدامه في بناء برج التبريد أو أجزاء منه فإن المعالجة الكيميائية تقاوم حدوث تلف له Wood deterioration ... وبدون معالجة يتقلص عمره من 20 أو 25 عاماً لأقل من 10 أعوام ... كما أن المعالجة الكيميائية تحمي البناء المعدني من التآكل ... لذا فالمعالجة هي بمثابة الوقاية التي هي خير من ألف علاج.

ما هي الملامح والخطوط العريضة التي بنى عليها بروتوكول المعالجة؟

أمامنا معركة عنيفة مع الثلاثي الشبح: التآكل ... تراكم القشور ... البايوفوللينج ! ولكي نخرج منتصرين يجب ضبط الأمور التالية:

أمامي مياه أريد أن أضبط الأملاح الكلية الذائبة فيها فلا تصل إلى الحد الأقصى المسموح به ... فالواجب العملي هو الحفاظ على دورات التركيز C.O.C الخاصة بالمنظومة من خلال ضبط عمليات التفوير والتعويض وغيرها ... مع الأخذ في الاعتبار المعالجة الأولية لمياه التغذية إن تتطلب الأمر.

أمامي مياه يجب أن أحافظ على العسر hardness الخاص بها والمتمثلة في الكالسيوم والمغنيسيوم يجب أن لا يزيد عن حد معين.

أمامي مياه يجب أن يكون أسها الهيدروجيني pH في مدى معين لا يزيد عنه ولا ينقص.

أمامي مياه يجب أن أحافظ على القلوية Alkalinity الخاصة بها والمتمثلة في الكربونات والبيكربونات.

أمامي مياه يجب أن تكون ال LSI فيها صفر أو أقرب ما يكون من الصفر ... وكذلك ضبط ال RSI كما ذكرنا من قبل.

أمامي مياه يجب أن أحافظ على عدة تركيزات معينة من الأملاح فيها مثل (السيليكا وغيرها) فلا تصل إلى الحد الأقصى المسموح به.

أمامي مياه يجب أن لا يزيد فيها العد البكتيري عن حد معين ولا يُسمح للطحالب بالنمو فيها.

وإليك الآن أساسيات يجب أن نتفق عليها في بروتوكول المعالجة:

1. لا يمكن أن أقول لك: "خذ هذا البروتوكول الممتاز أو البرنامج الممتاز وعالج مياه التبريد عندك" ... إنما البروتوكول الممتاز الحقيقي لا يمكن وضعه إلا بعد دراسة كاملة لمنظومة التبريد لديك ... وقد تخضع بعض جزئيات المعالجة لنظام الـ try and error ... والكثير من شركات المعالجة تقدم عرض مجاني 3 أشهر - 6 أشهر عبارة عن trial يختبر فيه العميل كفاءة الشركة المعالجة ... وفي نفس الوقت تتيح لشركة المعالجة دراسة ومعرفة تفاصيل دائرة التبريد ... ولكل برج حالته الخاصة case study كما يحدث أيضاً في مجال الصرف الصناعي ... ولذلك الكتب والمراجع الأجنبية المحترمة نجدها تذكر عدة حالات من كذا برج تبريد في العالم والمعالجة التي تمت معه!

2. عند دراسة منظومة التبريد قبل وضع بروتوكول المعالجة يجب تجميع عدة معلومات تتمثل في:

أ. طبيعة المياه الخام Raw water التي تغذي المنظومة ... تتضمن بعض الصفات الفيزيائية كدرجة الحرارة ... فمثلاً لا تستوى الحرارة عند 23 درجة مئوية مع 30 درجة مئوية ... كما أن درجة حرارة المبادل الحراري أو الـ Process يجب معرفتها ... والفرق في درجات الحرارة بين المياه الداخلة والخارجة والدلتا T (درجة الحرارة تنزل من كذا إلى كذا Temperature drop) كما قلنا من قبل ... وكلما قلت الدلتا T تقل كمية الكيماويات المستهلكة.

تتضمن أيضاً الصفات الكيميائية كالـ pH والـ TDS والقلوية والعسر وتركيزات بعض العناصر ... وحساب الـ LSI والـ RSI ... إلخ ... هذا بجانب مياه البرج ... وهذه المعلومات عن المياه الخام أو مياه البرج لا يجب أن تؤخذ من تحاليل يوم أو يومين بل يجب والأفضل أن تؤخذ من قراءات عام كامل لحدوث بعض التغيرات في الشهور والفصول.

ب. مادة الصنع الخاصة بأجزاء المنظومة (نوع المعدن أو السبيكة) وعلى رأسها المبادل الحراري بجانب المواسير ومواصفات البرج وأجزاء البرج المعرضة للمشاكل والتي يسمونها المناطق الحرجة Critical zones.

ج. النظام الهيدروليكي الكامل (Complete hydraulic system) ويتمثل في أمور عديدة كمعدلات التبخير والتفوير (الصرف) والتعويض ودورات التركيز وحجم برج التبريد (الطول والعرض وارتفاع الماء فيه) ومعدل سريان وتقدير حجم المياه السارية في المبادلات والمواسير وأطوالها ... إلخ ومن الممكن الاستعانة بالظلمية وقياس معدل السريان لها ... كل ذلك تدخل فيها حسابات ومعادلات أشرنا إلي بعضها من قبل.

أيضاً لو لم أعلم حجم المواسير خارج البرج فمن الممكن إضافة 30% من حجم المياه داخل البرج لتقدير الحجم الكلي للمياه في الدائرة.

حجم المياه الكلي والفقد والتعويض يؤثر بالطبع على تركيز الكيماويات المضافة ويدخل في معادلات لحسابه ... وهناك بارامتر يُرمز له بـ $C_{(1/2)}$ أو $T_{(1/2)}$ ومعناه أننى مثلاً لو أضفت مادة مانعة التآكل بنسبة 10 جزء في المليون متى ستصل لنصف هذا التركيز (يعني 5 جزء في المليون)

د. يجب التأكد من أن الديزاين للبرج مناسب ولم يكن بناؤه بطريقة خاطئة أو بحسابات خاطئة ... أشرنا إلى ذلك من قبل في موضوع الـ Site conditions.

3. نصيحة عملية: المعلومات لا يجب أخذها من فم العميل بل يجب الرجوع إلى المانيولات والقياسات التي تتم على البرج.

4. ملحوظة مهمة أخرى: نحن لا نعالج البرج ... نحن نعالج المياه التي تدخل وتخرج من البرج حتى لا تسبب المشاكل في المبادل الحراري أو في المصنع أولاً وأخيراً لأنه يرتبط بالإنتاج وقد تؤثر في البرج نفسه ... ولذلك تجد الكثير من العملاء لا يهتمون بمشاكل وصيانة البرج مادام المبادل يعمل بكفاءة والإنتاج لم يتوقف ... تبدأ مرحلة اليقظة إذا وجدت المشاكل في المبادل!.

5. عند وضع برنامج المعادلة نأخذ في الحسبان طلبات العميل خاصة لو كان يمتلك خبرة سابقة في التعامل مع دائرة التبريد.

6. قبل وضع البرنامج يجب عمل دراسات قبل اختيار "كوكيتل" المواد الكيماوية!

7. عند إضافة الكيماويات بنسب محددة وليكن مادة X نريد إضافتها بحيث يكون تركيزها 1 جزء في المليون في حوض البرج أو المكان الذي نأخذ منه الـ Blow down ... يجب أن نضع في الاعتبار قيمة دورة التركيز ... فلو كانت 4 مثلاً معنى ذلك أننا لو أضفنا هذه المادة الكيماوية كي تكون 1 جزء في المليون فإنها ستتضاعف 4 مرات في الدائرة! وبالتالي يجب تقليل الجرعة إلى الربع (يعني 0.25 جزء في المليون لنصل إلى 1 جزء في المليون) ويتم ضبط مضخة الحقن تبعاً لذلك.

8. يجب الحفاظ على تركيزات المواد الكيماوية الموصى بها على الدوام باستخدام ظلمبات حقن تعمل على الدوام مادام التفوير والـ make up ثابت ... وهذا عام إلا المواد التي يتم عمل shock dose بها.

9. يجب الحفاظ على تواجد residual من الكيماويات التي أضعها حتى أتأكد من أن لم تستهلك بالكلية ولا تحتاج لمزيد من الكميات ... تماماً مثل الـ residual chlorine وطبعاً لكل مادة حدود.

10. يجب تقليل التفوير blow down أثناء إضافة جرعات البايوسيد وغيره حتى لا تضيع مع الفاقد.

11. الأصل أنني أضيف كيماويات وصاحب الشركة هو الذي يعالج المياه التي سيتم إلّاؤها في الصرف ... ولكن بقدر الإمكان للتيسير نحاول في برنامج المعالجة تقليل نفقات معالجة الصرف الناتج .. مثلاً نحاول أن لا نجعل

تركيز الكالسيوم أقل من 50 جزء في المليون لأننا بذلك سنضرر أن نعوض بالزنك الضار بالبيئة... ومن الممكن ان نقوم بعمل خلط مياه الصرف مع مياه المصنع لتقليل تركيز الزنك إذا كان ذلك مُتاحاً!

12. في المعتاد لا توجد معالجة كيميائية للدائرة المفتوحة **once-through** ولكن فقط الكلورين (معالجة بيولوجية).

13. الناحية الاقتصادية مهمة جداً .. هل العلاج بالكيماويات أجدي أم تغيير المعدة كل فترة مع توقف المصنع والوحدة للصيانة أفضل من تكاليف المواد الكيماوية؟

تعليق المهندسين على بعض النقاط في أساسيات بروتوكولات المعالجة:

تعليق المهندس أيمن عوني عيد:

اتفق ماعدا التجربة المجانية ... أنا أعطي للعميل السيرة الذاتية CV (سابقة الأعمال) وأقل له يسأل قبل أن يُجرب ... ولا يوجد توزيع كيماويات بالمجان لكن من الممكن عمل كوبون ريج علي **pilot plant** ... يعني لايزيد عن ٢٥ كجم مثلاً ... لو لم تُعطي نتيجة معه لأُحمِل العميل التكلفة ولو أعطت نتيجة جيدة يتم محاسبة العميل علي كل شيء.

تعقيب المهندس أحمد حميدة سليم:

بعض الشركات والمصانع تعملها كنوع من ابتزاز شركات المعالجة ويقضيها وكل شركة تورد ٣ شهور والنتيجة شكر الله سعيكم!!

تعقيب الدكتور أحمد أنور أحمد:

في هذا الموضوع هناك شركات تستغله فعلاً لمجرد توفير قيمة المعالجة أكثر من سنة كاملة وعن عمد وليس من باب التجربة الفعلية ... وفي كل مناقصة يتم مخاطبة كل الشركات المسجلة لديهم بعمل تجربة وحتى لونجحت التجربة ... يطلبوا أيضاً منهم تجربة ثانية بنفس البرنامج كل سنة! ونحن نرفض هذا الأسلوب ونرجو من كل الشركات أن تسير على نفس النهج حتى لا نُصبح لعبة في أيدي الشركات وورقة ضغط على كل من يعمل في المعالجة.

تعقيب المهندس عمر عبدة:

معظم النقاط يتم تحديدها بالكامل في ال **site survey** ويتم وضع **technical proposal** كامل ... لأنه ببساطة لو شركة المعالجة غير مُلمة بهذه النقاط من البداية فتكون شركة ضعيفة جداً ومن الأفضل عدم التعامل معها ... وأما الوضع الحالي ليس فيه إمكانية المجاني نهائياً لأنه ببساطة الكيماويات المحترمة ذات جودة عالية نسبة الربح بها ليست مثل الأول ولذلك شركات كثيرة كبيرة في السوق للأسف كيماوياتها أصبحت فيها غش كبير جداً. وهناك اتفاق شبه تام بين الزملاء من شركات المعالجة على ضرورة توعية العميل بمعنى معالجة المياه وكيفية تحديد جودة الكيماويات من خلال النتائج ... من خلال التدريب والمحاضرات.

تحديد التفوير أولاً!

هناك مدرسة أخرى تقوم بوضع برنامج الكيماويات المضافة وتغيير عدد الدورات C.O.C وتطويعها حسب البرنامج أو كمية التفوير التي أريدها (يعني عملية عكسية) ... والسبب في ذلك أن العميل أو صاحب البرج يحاول تقليل التفوير لأقصى حد لتجنب استهلاك الماء والوقود والكيماويات ... فيقول أنا أريد تفوير كذا ... وأريد تصميم برنامج المعالجة على ذلك ... وإن كان ذلك بعيداً عن الواقعية والخبرة العملية والدليل على ذلك أن بعض أبراج التبريد تستغنى عن إضافة بعض الكيماويات التي لا تحتاج إليها ... والحقيقة الأكثر الأكثر واقعية هي المرونة! ... بمعنى أننا يمكننا التحرك يميناً ويساراً ما بين تحديد الكيماويات أو تغيير النظام الهيدروليكي بتقليل التفوير ... وهو الجمع بين فلسفة المدرستين!

تنقسم معالجة مياه التبريد إلى ثلاثة أقسام:

- 1- معالجة خارجية External treatment: تختص بالمياه الخام Raw water التي تغذي منظومة التبريد.
- 2- معالجة داخلية Internal treatment: هي التي يتم عملها على المياه المُعاد تدويرها في دائرة التبريد-re-circulated water.
- 3- معالجة مياه التفوير blow-down: والغرض منها الحفاظ على البيئة التي تُلقى فيها مياه الصرف (التفوير). ومن النقاش القادم نبدأ في المعالجة جزءاً جزءاً ثم نجمع الأجزاء لنحصل على بروتوكول عام في النهاية ... ونذكر مرة أخرى أننا هنا بصدد مقاومة حدوث المشاكل حتى لا نضطر إلى العلاج.

نبدأ بالمعالجة الخارجية في النقاش القادم ...

تعليق المهندس سلمان الفارسي:

تصميم برنامج المعالجة يعتمد على:

- 1- الأملاح الكلية الذائبة TDS في مياه التغذية Feed water.
 - 2- عدد ساعات التشغيل.
 - 3- عدد ظلمبات التشغيل.
 - 4- معدل السريان GPM or flow rate للظلمبات.
 - 5- فرق درجات الحرارة Delta T التي يعمل عليها البرج.
 - 6- عدد دورات التركيز أو cycles.
 - 7- تحليل مياه التعويض و هل مياه التعويض soft water or hard water؟ لأنه في حالة المياه ال soft برنامج المعالجة يختلف.
- بمعلومية النقاط السابقة تستطيع تحديد مياه التعويض كم متر مكعب وعلي أساسها تحسب إضافات ال antiscalant anticorrosion & كل يوم وبمعلومية حجم المياه الموجودة بالبرج تحدد إضافة ال Biocide كل أسبوع.
- ومثبطات نمو البكتريا تكون إما oxidizing biocide or non oxidizing biocide.

ال oxidizing biocide تكون إضافتها مستمرة أما ال non oxidizing biocide تكون مرة كل أسبوع و بتكون جرعة مفاجئة و يتم غلق التفوير بالبرج من 4 ل 6 ساعات.

تعليق المهندس أيمن عوني عيد:

تصميم برنامج المعالجة يعتمد علي:

المشاكل الأساسية بدوائر أبراج التبريد (التآكل - الترسبات - البكتيريا - الأملاح العالقة الغير ذائبة)... ويجب أن يكون في ذهنك دائماً معالجة الأربع مشاكل مجتمعين دون إهمال أي مشكلة منهم لأنه في حالة إهمال مشكلة واحدة ستؤدي إلي باقي المشاكل ... والكلور منفرداً يُمكن استخدامه لقتل البكتيريا لكنه يؤدي إلي حدوث التآكل بالبرج لذلك يجب متابعة نسب التآكل دائماً حتي لا يحدث تخريب للمعادن الموجودة بدوائر التبريد ويجب اختيار برنامج المعالجة بناءً علي جودة مياه التغذية لتجنب حدوث المشاكل ... ويوجد في مصر الآن كفاءات وخبراء علي أعلي مستوي في هذا المجال ويُمكن الاعتماد عليهم.

تعليق المهندس سلمان الفارسي:

كيماويات المعالجة لأبراج التبريد تنقسم إلي:-

1 - مانع تآكل و مانع ترسيب.

2 - مثبطات نمو البكتيريا.

مانع التآكل و الترسيب يعتمد علي كمية ونوعية مياه التعويض ... ومثبطات نمو البكتيريا يعتمد علي حجم المياه بالبرج.

المهندس شُعيب محمود شعبان:

معالجة المياه داخل الأبراج:

هناك أكثر من معالجة لمياه الأبراج يجب وضعها في الحسبان منها:

أولاً - المعالجة الكيميائية: تحتوي المياه المراد تبريدها علي العديد من الأملاح الذائبة مثل بيكربونات الكالسيوم والماغنسيوم بالإضافة لبعض أملاح العناصر الثقيلة والتي لا يستطيع الماء الاحتفاظ بها في صورتها المذابة فيتم ترسيبها مع ازدياد مرات التركيز مما يؤدي إلي ترسيبها علي المواسير وكذلك برج التبريد مما يؤدي بدوره إلى ضعف في معدل التبادل الحراري بالإضافة لإحداث تآكل بالدائرة فضلاً عما تزيده من تكلفة أعلى في استهلاكات الكهرباء. ولذلك كان واجباً عمل معالجة كيميائية للتخلص من تلك الترسبات .

وتعتمد معظم المعالجات علي استخدام مواد مزيلة للترسيبات مثل البولي فوسفات والبولي فوسفونات العضوية (Poly Organo Phosphonate) وقد تكون مختلطة ببعض البوليمرات لتخفيف حدة ازالة الأملاح ومنعها من التفاعل مع معدن البرج مسببة التآكل فيتم إضافة مواد البولي أكريلات لهذا الغرض.

كذلك يتم معالجة التآكل عن طريق إضافة بعض محاليل المعادن مثل الزنك لعمل طبقة حماية واقية ضد التآكل مع تغطية اي منطقة تكون قد تعرضت للتآكل (Metal Passivation).

ثانيا - المعالجة البيولوجية:

نظرا لوجود البيئة المناسبة لنمو البكتيريا والكائنات العضوية الدقيقة والطحالب مثل المياه والرطوبة وضوء الشمس في بعض الحالات فقد وجد الباحثون أن هناك العديد من البكتيريا الضارة للإنسان قد أصبحت مُلزمة لأبراج التبريد مثل بكتيريا اللجيونيلا.

وللحصول على أداء جيد لبرج التبريد يجب معالجة المياه من :

أ- القشور (Scales) :

تنشأ القشور نتيجة ترسب المواد الصلبة غيرالذابة في المياه على الأسطح الخارجية للأابيب ... العلاج الوحيد لمنع تكون القشور هو تصفية المياه (Blow down) ... وبالتالي المحافظة على نسبة تركيز مقبولة للمواد الصلبة في المياه الجارية.

ب- الصدأ (Corrosion) :

ينشأ الصدأ نتيجة تحلل المعادن بالتفاعلات الكيميائية بين الهواء والمعادن الصلبة في المياه الجارية ... العلاج الوحيد للصدأ هو التحكم في قيمة أس الهيدروجين (pH) وجعله أكبر من العدد (7) وبالتالي تصبح المياه الجارية غير حمضية ... يتم التحكم بإضافة مواد كيميائية مثل (الكرومات - البولي فوسفات - النيترات) للمياه الجارية.

ج- النمو العضوي (Organic growth) :

تغطي الطحالب (Algae) والفطريات (Fungi) الأسطح المبتلة وتتلف الحشو وبالتالي تنخفض السعة التبريدية للبرج ... ولعلاج ذلك يتم إضافة مواد كيميائية مثل الكلور للمياه الجارية.

د - الأتربة (Dirt) :

مصدر الأتربة هو الهواء المحيط ببرج التبريد ... تتجمع الأتربة في قاع البرج على هيئة طين (Silt) ... العلاج الوحيد للأتربة هو وضع فلتر على مداخل الهواء والتنظيف الميكانيكي لقاع برج التبريد.

المهندس أحمد حميدة سالم:

من الحسابات المهمة في برج التبريد حساب ال (HTI= holding time index).

$$HTI = 0.693 * \text{holding capacity/blow down rate}$$

وترجع أهميته في اختيار الكيماويات المستخدمة في برنامج المعالجة.

فمثلاً لو كان HTI طويل فيمنع استخدام كيماويات معينة مثل ال polyphosphates لاحتمال تكون الأورثوفوسفيت والذي يترسب على هيئة tricalcium phosphate

وهذا مثال لحسابه :Calculations example

reversion of the polyphosphate species

SAMPLE CALCULATIONS FOR AN OPEN RECIRCULATING SYSTEM

Problem: For the system illustrated below, calculate (using generally accepted rules), temperature drop, evaporation loss, concentration ratio, makeup water requirements, blowdown rate, holding capacity, time/cycle, and holding time index.

Test	Concentration Ratio
Chloride	4.8
Sulfate	8.2
Dissolved Solids	5.0
Calcium	2.8
Magnesium	3.0
Silica	3.0

Do not use the chlorides and sulfates to calculate concentrations for this system because chlorine and sulfuric acid are both being added to the system. These will also contribute to the dissolved solids; therefore these variables should not be used. Additionally, field testing for both these ions is not as precise as other test procedures. Calcium is less soluble than magnesium, so magnesium is a better determinant for the actual number of concentrations being maintained in the cooling tower. Silica can also be used very effectively in waters where magnesium silicate precipitation is not a problem. In this case, the system can safely be said to be concentrated three times.

Test	Makeup Water, ppm	Recirculated Water, ppm
Chloride	15	72
Sulfate	10	82
Dissolved Solids	100	500
Calcium	22	62
Magnesium	10	30
Silica	4	12

Makeup Water Requirements (MU)

$$MU = \frac{E \times CR}{CR - 1}$$

$$MU = 85 \text{ gpm} \times \frac{3}{3 - 1}$$

$$= 128 \text{ gpm}$$

Blowdown Rate (BD)

$$BD = MU - E$$

$$BD = 128 \text{ gpm} - 85 \text{ gpm}$$

$$BD = 43 \text{ gpm}$$

Holding Capacity of the System (C)

Holding capacity is determined via an ion concentration study. For purposes of this example assume a system volume of 86,400 gallons.

Time Per Cycle (Ts)

$$Ts = C/RR$$

$$= 86,400 \text{ gal}/5000 \text{ gpm} = 17.28 \text{ minutes}$$

Holding Time Index (HTI) — The holding time index can be calculated using the following equation:

$$HTI = \frac{0.693 \times \text{Holding Capacity, gal}}{\text{Blowdown Rate, gpm}}$$

$$HTI = \frac{0.693 \times 86,400 \text{ gal}}{43 \text{ gpm}}$$

$$HTI = 1392 \text{ minutes or } 23.2 \text{ hours}$$

Solution:

Recirculation Rate (RR) — Using the methods developed in the Value Added Troubleshooting Guide, RR has been determined to be 5000 gpm.

Temperature Drop (ΔT) — The tower return temperature (water that has picked up heat from the heat transfer equipment) is 105°F. The tower supply temperature (the water that has been cooled by evaporation) is 85°F. The temperature drop is $T_R - T_S$, or 20°F.

Evaporation Loss (EL) — A 20°F temperature drop will result in the evaporation of 1.7% of the recirculated water (based upon the general rule that a 10°F temperature drop will result in 0.85% evaporation). The evaporation loss will be equal to 1.7% x 5000 gpm, or 85 gallons per minute (lost to the atmosphere by evaporation).

Concentration Ratio (CR) — Tests were run on chlorides, sulfates, dissolved solids, calcium, and magnesium in both the makeup water and the recirculated water. By dividing the concentration of these specific ions in the recirculated water by the concentration in the makeup water, the respective concentration ratios were as follows:



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

Make-up

19

حول المعالجة
الخارجية لمياه
دوائر وأبراج
التبريد !!

النقاش التاسع عشر :-**19- حول المعالجة الخارجية لمياه دوائر أبراج التبريد!!**

المعالجة الخارجية External treatment ... يتم تطبيقها على المياه الخام (الفيد) raw water والتي تستخدم في عملية makeup ... ويجب أن لا نستهن بها فهي مفتاح النجاح في المعالجة الداخلية مثلها مثل وحدة التناضح العكسي RO ... وتقلل تكاليف الخسائر التي تحدث بدونها ... كما أنها عامل كبير في تحديد كمية التفوير blow down ... وكلما كانت المعالجة الخارجية ممتازة قلت كمية blow down ووصلنا إلى المستويات الإقتصادية المُرضية ...

معالجة خارجية هي التي تختص بمياه التغذية Raw water التي لم تدخل بعد في الدائرة ... سواء أكانت المياه الأولية التي نستخدمها في بداية تشغيل المنظومة أو مياه التعويض Make-up water التي تدخل لتعوض مياه التفوير المنصرفة ... تابع التعليقات.

باختصار نقول أن المعالجة الخارجية لمياه التغذية الخام تتلخص في تقليل الشوائب impurities وضبط الـ pH وقيمة القلوية Alkalinity وخفض العسر.

يتم عمل تنقية من الشوائب والمواد العالقة Clarification.

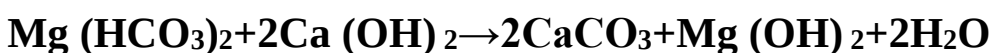
يتم تقليل العسر hardness (أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم) باستخدام سوفتنر أو التقنيات المشابهة.

انظر إلى أهمية استخدام تقنية الـ Liming لتقليل العسر:

Partial Softening of Makeup Water

Partial softening of the makeup water prior to its introduction to the cooling tower is an effective pretreatment method to increase cooling tower efficiency. Partial softening reduces water hardness, alkalinity and silica. In this method the water is treated with lime or a combination of lime and soda ash to precipitate the ions contributing to hardness and alkalinity. The precipitate is removed by filtration. Partial softening is used to treat water with moderate to high hardness and alkalinity in the range of 150 to 500 ppm as CaCO_3 .

والتفاعلان الرئيسيان كالتالي:



(ومن أراد الاستزادة من هذه التقنية برجاء الرجوع إلى كورس مناقشات علمية حول التناضح العكسي – الجزء الأول أو غيرها من المراجع وشروحات الزملاء التي أعتنت بمراحل المعالجة الإبتدائية).

يتم إضافة حمض وأحياناً كوستيك Caustic soda في المعالجة الإبتدائية.

كما يتم عمل فلتر للمياه الداخلة أو عمل clarifying كما أوضحنا من قبل.

مسائل من الخبرات العملية توضح لك أهمية العناية بالمعالجة الابتدائية:

- 1- ارتفاع نسبة الـ TDS في برج التبريد بصورة غير طبيعية مع ثبات الـ TDS لمياه الخام!:
من المشاكل المشهورة هي ارتفاع نسبة الـ TDS في برج التبريد بصورة غير طبيعية مع ثبات الـ TDS لمياه الخام ... أهم أسباب ذلك هو وجود سوفتندر في المعالجة الابتدائية إن دعت إليه الحاجة! يحدث ذلك وقت التنشيط حيث لا يتم شطف الملح الذي يستخدم في التنشيط (كلوريد الصوديوم) جيداً فيدخل البرج ... لذا يجب قياس الـ TDS كل فترة قبل السوفتندر وبعد السوفتندر حيث يكون ثابت تقريباً وللإطمئنان على صواب عملية التنشيط.
 - 2- ارتفاع القلوية ارتفاع شديد في مياه التغذية لو كان هناك استخدام لطريقة التيسير بطريقة الـ Lime softening حيث أن هيدروكسيد الكالسيوم المستخدم يرفع الـ pH لأكثر من 11 فيجب الإلتباه لضبط الـ pH قبل الدخول في دائرة التبريد.
 - 3- استخدام تقنية التناضح العكسي أحياناً لمعالجة المياه قبل الدخول على دائرة التبريد تفيد كثيراً في خفض كمية مياه التفوير ... والسبب في ذلك أن مياه البريميت المنتجة تكون منخفضة في الـ pH (راجع تقنية الـ RO) وبالتالي يقل استهلاكنا للحامض في خفض الـ pH في الدائرة ... هذا فضلاً عن انخفاض العكارة والملوثات.
- ولكن يجب عدم استخدام البيرميت بدون خلط مع المياه السطحية أو مياه البلدية معه ... وأهم سبب في ذلك هو ضماننا لتواجد عنصر الكالسيوم بكمية مُعتبرة (أكبر من 50 جزء في المليون) ليساعد مضاد التآكل كما سنتحدث بعد ذلك ... والسبب الآخر هو أن لا يكون الوسط له خواص تآكلية مع انخفاض الـ pH عن الحد المسموح به.
- والوضع الإقتصادي مهم في تحديد القرار باستخدام المياه العادية أو المياه المنتجة من الـ RO. فلأمانة نقول أن استخدام المياه السطحية أو مياه البلدية كثيراً ما تكون أوفر اقتصادياً من استخدام الـ RO في أبراج التبريد حتى لو زادت دورات التركيز مع الـ RO وقل استهلاك الكيماويات والطاقة مقارنة بغيرها ... وقد يكون استخدام المياه الخارجة من البئر ومعالجتها بالأر أو أقل تكاليف من غيرها.
- كما ترون ... المعالجة الابتدائية واختيار نوع المياه لابد له من دراسة ... ولا نأخذها من مرجع علمي والسلام!



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

20

المعالجة
الداخلية لمياه
وأبراج التبريد!



النقاش العشرون :-**20- المعالجة الداخلية لمياه أبراج التبريد**

في نقاشنا حول المعالجة لمياه التبريد بأبراج التبريد ... تم تقسيم المعالجة إلى ثلاثة أقسام ... معالجة خارجية تختص بالمياه الخام Raw water التي لم تدخل بعد في الدائرة ... سواء أكانت المياه الأولية التي نستخدمها في بداية تشغيل المنظومة أو مياه التعويض Make-up water التي تدخل لتعوض مياه التفوير المنصرفة ... المعالجة الداخلية والتي نحن بصدها الآن - ولعدة مناقشات قادمة - هي معالجة المياه وهي داخل دائرة التبريد أو ما نطلق عليها الـ Circulating cooling water ... والقسم الثالث هو معالجة مياه التفوير.

فُلنا ونكرر نحن مع معركة مع الثلاثي الشبح ... التآكل ... تكون قشور الأملاح ... تكون البايوفوللينج أو النمو البيولوجي ... ويجب أن نتحكم في عدة بارامترات لتسهيل علينا الانتصار في المعركة!

خمس نقاط أساسية سنذكرها في الدورة التدريبية حول المعالجة الداخلية:

- 1- التحكم في تركيز الأملاح والتوصيلية الكهربائية والعسر.
- 2- التحكم في الـ pH والقلوية Alkalinity.
- 3- مقاومة التآكل وإضافة مضادات التآكل (anti-corrosion).
- 4- مقاومة تكون قشور الأملاح بإضافة مضادات القشور (antiscalant).
- 5- مقاومة النمو البيولوجي بإضافة مضادات البكتيريا والطحالب (البايوسايد Biocides).

1- التحكم في تركيز الأملاح والتوصيلية الكهربائية:**(Good conductivity control)**

يجب الحفاظ على دورة التركيز الموصى بها ... ويتم تحديدها بناءً على عدة معلومات أهمها طبيعة مياه التغذية ... ويتم تركيب conductivity controller (sensor) مع الـ Bleed valve في فتحة التفوير ببرج التبريد ... فإذا زادت التوصيلية عن الحد المسموح بها تم فتح الـ bleed valve وهي عملية الـ bleed off أو الـ blow down ... ذكرناها من قبل ومعناه التخلص من كمية من ماء البرج ثم تعويض بماء جديد raw water بعملية الـ make up لها توصيلية قليلة.

انظر إلى صورة للـ conductivity controller:



تتم عملية ال bleed off والتعويض بماء جديد حتى تنخفض التوصيلية conductivity إلى القيمة المطلوبة.

الكيمائيات التي تُضاف في المعالجة الكيميائية تزيد من ال TDS ولذلك يجب وضعها في الحسبان إذا أردنا الحفاظ على دورات التركيز Concentration of cycles.

وأما العسر ففي العموم يُفضل أن يكون ما بين 100 – 200 جزء في المليون ... بحيث لا نصل بالكالسيوم لدرجة التشبع ... ولو زاد على ذلك سنعرض لخطر تكون القشور ونضطر للمعالجة الأولية بسوفتندر مثلاً ... ولو قل عن ذلك اضطررنا لتعويض نقص الكالسيوم بإضافة المزيد من الزنك لمقاومة التآكل كما سنتحدث.

ولذلك عندما نحدد عدد دورات التركيز لا ننظر فقط إلى الأملاح الكلية بل ننظر إلى مسببات القشور وأهمها الكالسيوم والمغنيسيوم والسيليكا في بعض الأحيان.

ولو كان المسموح عدد دورات التركيز 3.5 مثلاً كأقصى قيمة ... فمن الأساسيات أننا نفضل العمل على دورة تركيز 3.0 لأن مياه التغذية قد تتغير في أملاحها وهذه قاعدة هامة ... أو يكون البديل هو زيادة المواد الكيميائية الخاصة بالمعالجة.

2- التحكم فى ال pH والقلوية Alkalinity:

فى العموم ... الأس الهيدروجينى يقع بين 6.5 و 9 ... وأفضل مدى له بين 7.5 – 8.5 وهذا حسب تعليمات الشركة المعالجة ...

برامج المعالجة الكيميائية لأبراج التبريد أفضل شىء لها أن تكون عند pH عالية نسبياً حتى نبتعد عن خطر التآكل ثم نهتم بعد ذلك بالقشور والنمو البيولوجي ... وبرج التبريد له pH موصى بها فى مدى محدد ... لا يزيد عنه ولا يقل ... لو زاد مثلاً عن 8.5 زادت إمكانية ترسب الأملاح وتكونت القشور (مثل أملاح كربونات وفوسفات الكالسيوم) كما قلنا من قبل خاصة فوق ال pH = 8.0 ... لو قلت ال pH فإن شبح التآكل يبدأ فى الظهور ... وكما قلنا من قبل ... ال pH تزيد مع منظومة برج التبريد ... وجننا بتفسير ذلك ولن نكرره ...

يأتى هنا دور الحمض الذي يُضاف حتى يقوم بضبط ال pH وخفضها إلى المدى المسموح بها ... وتحت هذا الأساس نتكلم كما نشاء.

وغالباً ما يكون البرنامج الكيماوي يعمل فى pH معينة.

(مثلاً الفوسفات لا يعمل فى pH أعلى من 8.4 ولذلك يتم إضافة الحامض حتى لا تتعدى ال pH هذا الرقم).

يتم إضافة حمض حُر لتقليل القلوية والرقم الهيدروجينى (وأفضل حمض والأكثر شيوعاً هو حمض الكبريتيك) وبمقدار يتم من خلاله ضبط ال pH ... حيث يقوم بتدمير القلوية وذلك بتحرير الأسيرو ثاني أكسيد الكربون من الكربونات والبيكربونات ومنه إلى الجو كما تجد فى التفاعلات التالية:

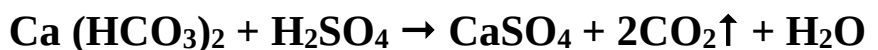
1- (Destruction of Carbonate Alkalinity):



2- (Destruction of Bicarbonate Alkalinity):



كما أن الحمض يتفاعل مع بيكربونات الكالسيوم ليكون كبريتات الكالسيوم الأكثر ذوباناً فى الماء وهي أكثر ذوبانية فى الماء من كربونات الكالسيوم التي تتحول من بيكربونات الكالسيوم ويتحرر ثاني أكسيد الكربون كذلك:

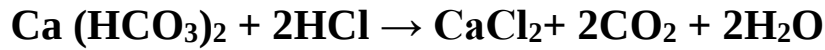


ومفتاح التحكم فى ال pH يكون فى الحفاظ على نسبة البيكربونات إلى ثاني أكسيد الكربون عند المستويات المطلوبة.

يجب عدم إضافة حمض الكبريتيك بكمية كبيرة حتى لا تنخفض ال pH عن الحد المسموح به فتزيد التآكل ... هذا من جهة ... ومن جهة أخرى زيادة تركيز الكبريتات يؤدي إلى ترسبها.

وحمض الكبريتيك يُفضل لرخص ثمنه وسهولة تداوله (بعكس النيتريك الذي يحتاج لموافقة من الجهات الأمنية لدخوله فى صناعة المفرقات)!

حمض الهيدروكلوريك HCl من الممكن أن يستخدم ولكن يحتاج لحجم أكثر من 3.6 ضعف حجم حمض الكبريتيك لأن أقصى تركيز له 36% بعكس الكبريتيك الذي يصل إلى 99%.
كما أن حمض الهيدروكلوريك يسبب زيادة أيون الكلورايد الذي يسرع من تآكل الحديد الصلب والاستانلس ستيل تحديداً ... انظر المعادلة التي تحدث بعد إضافة حمض الهيدروكلوريك:



ويُفضل إضافة الحمض بطريقة أوتوماتيكية بوضع جهاز pH أون لاين أو ما يُسمى بال pH controller إذا نقصت الـ pH عند حد معين يعطي تعليماته عبر لوحة التحكم إلى طلمبة الحقن بحقن جرعة من الكبريتيك ... لأن الطريقة اليدوية قد يكون فيها احتمال زيادة أو نقصان أو غفلة من العامل مما يؤثر على التحكم في التآكل.

أمر هام ينصح به الخبراء لتقليل استهلاك حمض الكبريتيك ... وهو أن تكون مياه الفيد ناتجة من وحدة تحلية بالتناضح العكسي فتكون منخفضة الـ pH ... وبالتالي عند دخولها بمقدار في الـ make-up يقلل الـ pH بسبب تواجد ثاني أكسيد الكربون الذائب ... أمر يعلمه العاملون في مجال التناضح العكسي RO.

والمدى الخاص بالـ pH يتم التوصية به من خلال عدة عوامل ومن ضمنها قيمة الـ LSI التي يُفضل أن تكون قيمتها صفر أو أقرب إلى الصفر ... والمعادلة قد ذكرناه من قبل ونكررها هنا للتذكرة:

$$\text{LSI} = \text{pH (measured)} - \text{pH}_{\text{sat}}$$

البعض يستخدم الصوديوم بايسلفات Sodium bisulphate ورمزه الكيميائي NaHSO_4 كبديل أرخص من حمض الكبريتيك لتقليل الـ pH والذي يستخدم أيضاً في تخفيض الـ pH في حمامات السباحة ... أو يتم استخدام الصوديوم باي سلفايت Sodium bisulphite ورمزه الكيميائي NaHSO_3 التي تستخدم في إزالة الكلورين أيضاً وكلا المركبين يعطي حامضية للمياه.

كما قلنا أنه يتم إضافة حمض لخفض الـ pH التي ترتفع في منظومة برج التبريد وضبطها في المدى الموصى به ... وأحياناً يتم إضافة مادة قلوية ... (وهذا نادر ونلجأ إليه عند إضافة جرعة زائدة من الحامض أو حدوث تسريب من الحامض في أي أجزاء من النظام أو تكون المياه مصدرها صرف صناعي) ...

لتكن هذه المادة التي ترفع الـ pH هي الصودا الكاوية ... حيث تقوم بالتفاعل مع حمض الكربونيك (أو ثاني أكسيد الكربون) الذي تكوّن بسبب الجرعة الزائدة من الحامض والتي تسببت في انخفاض الـ pH ... انظر التفاعل التالي:



ناتج التفاعل أيون الصوديوم بجانب البيكربونات التي تكون هي السائدة في مدى الـ pH المطلوب ... ولكن يجب الاحتراس عند إضافة المادة القلوية وهو أنه لا تزيد عن حد معين وإلا زادت الـ pH عن الحد المسموح به وزادت مخاطر ترسب الأملاح ... وفي المتوسط يجب أن لا تزيد القلوية الكلية (وهي الـ M-Alkalinity) عن 100 جزء في المليون وهي التي تعبر عن كل أيونات الهيدروكسيد والبيكربونات كما

أن القلوية الجزئية أو ال-P-Alkalinity والتي تعبر عن أيون الهيدروكسيد ونصف أيونات البيكربونات يجب أن تساوي صفر أو تقترب من الصفر ... بمعنى أنك لو وضعت فينول فتالين في العينة فتجده لا لون له colorless أي أقل من أو يساوي $\text{pH} = 8.2$ أو يحتاج لبضع نقاط قليلة من حمض الهيدروكلوريك من السحاحة ليتحول لعديم اللون عند هذه النقطة (وقيم القلوية المطلوبة كما نقول دائماً حسب التوصيات).

المهندس أيمن موسيليني عارف:

لا يُفضل حقن حمض الهيدروكلوريك في أبراج التبريد لأنه يزيد أيون الكلوريد ... وارتفاع الكلوريد عن الحد المسموح به يسبب شروخ في الاستانلس ستيل في المبادلات الحرارية ... ويُفضل حقن حمض كبريتيك لعمل كنترول على القلوية من خلال ضبط قيمة ال-pH.

وحقن الحمض في أبراج التبريد ليس لإزالة القشور بل لمنع تكون القشور ... وفي حالة حدوث ترسبات في المبادلات الحرارية فهذه لها طريقة تنظيف إما ميكانيكية أو كيميائية ... وقشور الزنك والفوسفات على المواسير مطلوب لحمايه المعدن وهو ما يسمى بالحماية الكاثودية والأنودية وهذا يكون ضمن برنامج المعالجة الذي يتحدد بناءً على تحاليل المياه وميول المياه التي تحدده شركة المعالجة.

تعليق عباس طاهر صالح:

عندي تحفظ على أي نوع حامض لأن حمض الهيدروكلوريك يسبب تآكل لطبقات جدار ومواسير الاستانلس ستيل وأيضاً عندي تحفظ على حمض الكبريتيك في تكوين قشور كبريتات الكالسيوم ... ولهذه الأسباب أفضل استخدام مياه RO كتغذية لأبراج التبريد لرفع معدلات دورات التبريد طبعاً مع الأخذ في الاعتبار عدد الدورات بالنسبة للقياسات التي تتم وفقاً لمعايير المعالجة أو برنامج المعالجة على حسب كل شركة من شركات المعالجة.

كيف يتم تقدير حمض الكبريتيك المُضاف؟

يعتمد ذلك على عدة أمور:

أولاً: قياس القلوية الكلية في مياه ال-make up ... ودورة التركيز (يعنى كمية المياه المفقودة بالتبخير) وبالتالي القلوية المتوقعة وال-pH المتوقعة.

ثانياً: إضافة حمض الكبريتيك يعتمد على عدة أمور وهى: لو كانت ظروف التشغيل لها pH فى حالتها الطبيعية أو كانت مرتفعة ... والقلوية الكلية التى نريد الوصول إليها وال-pH التى نريد الوصول إليها كذلك ... وعليها يتم حساب جرعة حمض الكبريتيك (Dosing).

ولكى نعرف كم الجرعة المطلوبة من الحامض لو لم نستخدم الطريقة الأوتوماتيكية التى ذكرناها ... يتم ذلك عن طريق المحاولة والخطأ try and error ... أو يتم استخدام الطريقة المرفقة بالصورة التالية:

Example of Sulfuric Acid Requirement Calculation

Calculation of the requirement for acid dosing to a cooling system or the makeup water is dependent on a number of factors, most importantly the desired final alkalinity in the recirculating water, the incoming alkalinity, and the strength of acid used.

Example: A cooling system operating at 4x cycles requires 5000 m³/day of makeup water, of 160 ppm total alkalinity (as CaCO₃). How much sulfuric acid of 98% strength is required per day to maintain the cooling water total alkalinity within the range of 60 to 100 ppm?

Comments and calculations:

Aim for 20 ppm total alkalinity in the makeup water to provide 80 ppm in the recirculating water. This requires 140 ppm CaCO₃ of makeup water alkalinity to be destroyed by the sulfuric acid.

$$\text{Makeup} = 5000 \text{ m}^3/\text{day}.$$

Given that: 140 ppm = 140 mg/l, or 140 g/m³, and 1 kg = 2.204 lb
Then

$$\frac{140 \times 5000 \times 2.204}{1000} = 1542.8 \text{ lb/day alk as CaCO}_3$$

One pound of 98% sulfuric acid is approximately equivalent to 1 lb of alkalinity as CaCO₃. Thus the daily amount of acid required is 1542.8 lb/day.

وهناك جداول جاهزة تُعطي القيمة المطلوب إضافتها للحامض كي تحافظ على قيمة معينة من الـ pH. والآن نضع الجدول العام الذي نحدد من خلاله عدد دورات التركيز المناسبة بناءً على طبيعة المياه الخام والمدى المسموح به لقيم الـ pH والقلوية والـ TDS وتركيز الكالسيوم والمغنيسيوم والسيليكا والكلورايد والكبريتات و قيم الـ LSI وغيره من المواصفات المطلوبة:

Make Up M-Alk	Cycles	Circ Water M-Alk	Est Circ Water pH - no acid	With Normal pH Operation			With High pH Operation				
				M-Alk Target	pH Target	ppm H2SO4 needed	M-Alk Target	pH Target	ppm H2SO4 needed	ppm H2SO4 saved	% H2SO4 saved
100	2	200	8.34	80	7.65	120	200	8.34	0	120	100%
100	3	300	8.64	80	7.65	220	300	8.64	0	220	100%
100	4	400	8.86	80	7.65	320	375	8.81	25	295	92%
100	5	500	9.03	80	7.65	420	375	8.81	125	295	70%
100	6	600	9.16	80	7.65	520	375	8.81	225	295	57%
100	7	700	9.28	80	7.65	620	375	8.81	325	295	48%
100	8	800	9.38	80	7.65	720	375	8.81	425	295	41%
100	9	900	9.47	80	7.65	820	375	8.81	525	295	36%
100	10	1000	9.55	80	7.65	920	375	8.81	625	295	32%
100	12	1200	9.69	80	7.65	1120	375	8.81	825	295	26%
100	14	1400	9.80	80	7.65	1320	375	8.81	1025	295	22%
100	16	1600	9.90	80	7.65	1520	375	8.81	1225	295	19%

Assume 100 ppm Ca as CaCO₃ in Make up. Higher Ca waters may require lower target M-Alk.
Always run mineral solubility analysis and get expert assistance to validate treatment program and limits.

كيف نستخدم الجدول؟؟

الفكرة هي:

"تحديد أفضل دورات التركيز بما يتلائم مع درجة الـ pH المفروضة والبارامترات الأخرى"

فبعد معرفة المعلومات الخاصة ببرج التبريد والتحليلات المعملية التي تمت علي مياه الـ Make-up أو مصدر المياه ... وبعد وضع عدد دورات التركيز (من 1.5 - 2 - 2.5 - 3 - 3.5 ... إلخ) نرى أنسب الخطوات كالتالي مع الوضع في الاعتبار أننا إذا استطعنا الوصول إلى أقصى دورات تركيز فيكون ذلك هو الأفضل لتوفير النفقات والكيماويات المستخدمة:

نحدد أقصى TDS يجب أن لا نصل إليها ... فلو كانت الـ TDS للمصدر 300 جزء في المليون مثلاً ومواصفة المبادل الحراري لا تتحمل أكثر من 1000 جزء في المليون ... معنى ذلك أن يجب أن لا نزيد عدد دورات لتركيز عن 3 لنصل إلى 900 جزء في المليون ... ولو استخدمنا 3.5 دورات التركيز سنصل إلى 1050 جزء في المليون فوق المواصفة.

والآن بأي حال من الأحوال فقد قررنا أن لا تزيد دورات التركيز عن 3 في المثال السابق ... ومع تتبع البارامترات الأخرى قد نشبت على هذه القيمة أو نقللها إذا كانت دورة التركيز رقم 3 ستؤدي إلى خروج عن مواصفة لبارمتر آخر.

ننظر تباعاً إلى البارامترات الأخرى وأهمها الـ pH (وكما نرى ... الأس الهيدروجيني pH يزيد مع زيادة دورات التركيز) ... الأس الهيدروجيني له مدى معين في دوائر أبراج التبريد وفي العموم من 5.7 إلى 8.5 وهناك من يقوم بتشغيل البرج على pH منخفضة وهناك من يشغله على pH مرتفعة ولكن في نفس المدى السابق ... وعند استخدام الجدول نسأل هل دورة التركيز التي اخترناها تتماشى مع مدى الـ pH الموصى به في البرج أم لا.

بعد اختيار دورة التركيز بناءً على الـ TDS والـ pH ننظر إلى البارامترات الأخرى وكمثال نختار أيون الكلورايد ... لو كان تركيزه في المياه الخام 60 جزء في المليون ... والمواصفة يجب أن لا تتعدى 250 - 300 جزء في المليون حد أقصى ... نجد أن دورة تركيز 5 تصل بالكلورايد إلى 300 ... يعني الحد

الأقصى ... والخبير هنا يجب أن يحتاط ... فلربما زاد تركيز الكلورايد لسبب أو لآخر فيتخطى حاجز الـ 300! وبالتالي يُفضل أن نجعل دورة التركيز أقل ... يعني 4.5 حتى نستطيع تدارك الموقف لو زاد الكلورايد.

أيضاً ننظر إلى الـ LSI ... يمكننا الوصول إلى قيمة 2.5 مادماً نستخدم أنتيسكيل قوى أو نقلل دورات التركيز إذا كنا نريد توفير الأنتيسكيل. والمنطقة الحمراء بالجدول يجب عدم الوصول إليها لأنها دلالة على بدء تكون القشور والأجانب يسمونها "no go" zone!

استخدام ثاني أكسيد الكربون في خفض الـ pH بدلاً من الحامض!!

ذكرنا من قبل أن برج التبريد يحدث فيه نزع لثاني أكسيد الكربون إلى الهواء الجوي في الظروف العادية ... ولكن بعض الأنظمة تستخدم ثاني أكسيد الكربون وتدخله على مياه التبريد بالإكراه ببلاور أو ضاغط Compressor أو injector من أسطوانات مضغوطة بغاز ثاني أكسيد الكربون ليذوب في المياه رغم أنف الجميع ويتحول إلى حمض الكربونيك وتنخفض الـ pH. بالطبع اختيار مكان الحقن injection في البرج أمر ضروري جداً كما يجب الاحتراس عند استخدامه إذا كان هناك عدة أبراج متتالية أن تكون الضغوط في الخطوط متوازنة ومتساوية وإلا فإن الغاز سيذهب إلى المكان الأقل مقاومة ... قد يحدث ضغط عكسي back pressure على أحد الأبراج ويؤثر على مستوي الماء في الحوض السفلي للبرج ... أمور يجب أن تؤخذ في الاعتبار في الديزاين ... والأفضل عمل منظومة حقن منفصلة لكل برج.

المهندس عمر الفاروق:

- ١- لابد من معرفة تحاليل مياه التعويض كاملة بعد الميسر.
 - ٢- لابد من معرفة تحاليل مياه الـ bleeding من البرج كاملة.
 - ٣- نسبة العكارة المذكورة ليست عالية لمياه برج تبريد.
- بمعرفة القيم السابقة يُمكن إعطاء تصور لمدى جدية وجود ميسر بدون إضافة كيماويات معالجة من عدمه ... وإلا أصبح ضرورياً إضافة كيماويات أو خلط مياه الميسر بمياه البلدية للعمل على وجود نسبه مقبولة من أملاح الكالسيوم في البرج تفادياً لحدوث تآكل شديد كطبيعة المياه الميسرة منزوعة الأملاح ... والتحاليل المطلوبة:

pH - Conductivity - Chloride - Ca. Hardness - Total Hardness - Total Iron - M.Alkalinity.

تعقيب المحاضر:

السوفتندر والفيلتر الكربوني ليس وجودهما شرطاً كبديل عن العلاج الكيميائي بل قد يكون وجودهما يسبب ضرراً يستدعي العلاج الكيماوي!

استفسار متدرب:

هل من الضروري ارتباط الـ pH بالـ m-alkalinity ... بمعنى أنه لابد من زيادتهم أو نقصهم مع بعضهما؟ أم من الممكن واحدة تزيد والثانية تثبت أو العكس.

أى ... هل ارتفاع الـ pH أو انخفاضها يتبعه بالضرورة ارتفاع أو انخفاض الـ m-alkalinity؟؟ أقصد هل نتائج التحاليل عندما تكون البى إتش 8.7 وتكون القلوية 190 بعدها عينة نتيجة البى إتش 9.1 والقلوية 90 هل هذا ممكن يكون منطقى؟؟

رد الدكتور أحمد أنور أحمد:

أحياناً نحتاج رفع قيمة القلوية بدون تأثير كبير على قيمة الـ pH وهذا يتم فعلاً في بعض الدوائر.

تعقيب المحاضر:

منطقي جداً إذا كنا نتعامل مع البيكربونات أنها السبب في القلوية وليس أيون الهيدروكسيد مثلاً ... النتيجة التي ذكرتها يدل على أن الـ species التي تزود القلوية هي البيكربونات ... ويكفى أن نقول أن البى إتش للبيكربونات في حدود 8.3 - 8.4 مهما زاد تركيزها ... ومن الممكن القلوية = ٥٠٠٠ جزء في المليون والبى إتش ٨,٣ ... وهذا عن طريق إضافة البيكربونات ... ولكي يتم التأكد من ذلك يتم عمل المعايرة المعملية المعروفة مع الحمض وحساب تركيز أيون الهيدروكسيد والكاربونات والبيكربونات على حده as ppm.

المهندس أيمن موسىليني أضاف فائدة هامة فيما يتعلق بالأس الهيدروجيني والقلوية:

الـ pH في الـ make-up تكون 11.0 نتيجة إضافة الجير في المروق (بالمعالجة الابتدائية لمياه التغذية قبل دخول البرج) ... ومع تلامس الهواء المسحوب من المراوح بالماء تنخفض الـ pH نتيجة وجود CO₂ في الهواء ... وهذا يرجع إلى ضعف القلوية ... وتنخفض الـ pH إلى 7.8 دون إضافة حامض ... لذا يقل استهلاك الحامض في البرج في حال إزالة العسر في المعالجة الأولية رغم أن البى إتش = 11. وبالعكس يزيد استهلاك الحامض في البرج لعمل كنترول على الـ pH في حال كان الـ make-up بدون خفض للعسر يعني عند pH = 7.8 (المياه الطبيعية) ... فيزيد استهلاك الحامض ويكون الـ CO₂ المسحوب في الهواء من خلال المراوح في هذه الحالة غير مؤثر حيث تكون القلوية قوية strong alkalinity.

بمعنى آخر ... لو الـ basin فارغ وتم ملؤه بمياه لها pH = 11.0 نتيجة إضافة الجير في المعالجة الأولية وتم عمل circulation ... هنا الـ pH ستخفض نتيجة الـ CO₂ المسحوب مع الهواء ... وهذا يتسبب في أن القلوية تكون في صورة هيدروكسيد ... وتكون alkalinity week لذلك الـ CO₂ يؤثر على القلوية ويوصلها إلى صورة البيكربونات عند pH = 7.9.

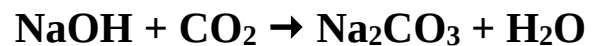
مكان دخول الـ make-up يكون في الـ basin.

المقصود بال weak Alkalinity أنه بعد إضافة الجير يتم التخلص من الكالسيوم والمغنيسيوم والقلوية بنسبة تصل إلى 70% للكالسيوم ونسبة 50% للمغنيسيوم ونسبة 70% للقلوية وهذا يرجع لـ pH تبعاً لكمية الإضافة للجير.

المقصود ب Strong Alkalinity القلوية والعسر قبل إضافة الجير ... بمعنى أننا لو بدأنا تشغيل البرج من البداية وأدخلنا المياه بهذه البي إتش المرتفعة ... مع التدوير سيقال البي إتش حتى يصل إلى ٧,٨ وبعد الوصول إلى 7.8 ومع زيادة معامل التركيز تبدأ القلوية في الإرتفاع ومن ثم الـ pH ... وهنا يتم التحكم من خلال إضافة كميات قليلة جداً من حمض الكبريتيك للحفاظ على الـ pH المطلوبة وطبعاً في بداية ملئ الـ basin يتم حقن حامض حتى ضبط الـ pH وبعد الـ circulation يكون الحمض شبه منعدم ... ولكن عندي أحقن جير في المروق وتكون الـ pH في حدود 11.0 أو أكثر واستخدمها ك make-Up للبرج ويكون حقن الحمض شبه منعدم ... وعندي برج آخر أعمل له make-Up بمياه city water لها pH = 7.8 ... وأحقن في البرج كميات حامض عشرة أضعاف عن البرج الآخر الذي له pH = 11.0 حتى أقوم بعمل كنترول على الـ pH في بداية التشغيل ... طبعاً يتم ضبط الـ pH بحمض وبعد بدء الـ circulation يكون حقن الحمض شبه منعدم (وللأمانة أنا لم أقم بعمل circulation عند pH = 11.0 في بداية التشغيل ولكن أطرح وجهة نظر على تأثير الـ CO₂ على المياه التي تم إضافة كالسيوم هيدروكسيد لها في المعالجة الأولية وتأثيرها على الـ pH ... وحيث أن كمية الـ make-Up مقارنة بمعدل الـ circulation والذي يساوي 1% ... أي أن الـ pH في مياه التعويض لا يؤثر في الـ circulation بمعدل 20000 متر مكعب / ساعة ... ويكون الـ CO₂ له الغلبة في خفض الـ pH.

تعقيب المحاضر:

هيدروكسيد الصوديوم شره بالفعل في امتصاص ثاني أوكسيد الكربون في الجو ويتحول إلى بيكربونات:



وعن مميزات وعيوب استخدام الجير يتحدث المهندس أيمن موسىليني عارف:

ومن مميزات التيسير بالجير: خفض العسر المؤقت بنسبة تصل إلى 70% وخفض الحمل العضوي بنسبة تصل إلى 80% ... وخفض العكارة بنسبة تصل إلى 95%.
وعيوبه: سدد مع الوقت في خطوط السحب والطرء للطلميات ... صعوبة الشحن والتفريغ ... رواسب بكميات كبيرة ... ويحتاج مهارة فنية لضبط قيمة m. Value و P. Value للتحكم في القلوية والعسر وضبط معدلات سحب الرواسب من المروق وضبط معدلات حقن المخثرات الشبة والبولي ... وإن تم إهمال شئ مما ذكرت فقد تصل الـ TSS بعد المروق إلى 50 جزء في المليون لذا تحتاج فنيين مدربين بعناية.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

21

مقاومة التآكل
وأمثلة
لمضادات
التآكل!!



النقاش الحادي والعشرون :-**21- مقاومة التآكل وأمثلة لمضادات التآكل (anti-corrosion)**

مبدأياً نقول ... لا يوجد شيء اسمه Zero corrosion حتى ولو كان معامل لانجيلير له قيمة موجبة! وهذا ما دلت عليه الأبحاث والاختبارات والخبرات العملية ... فبيئة المياه دائماً متغيرة ... ولكن بالطبع كلما زادت قيمته الموجبة قل معدل التآكل وزاد معدل ترسب القشور الملحية الكلورية ونحن عملياً بالفعل نحاول أن نقتل معدل التآكل على قدر المستطاع.

حتى نقاوم التآكل يجب أن نتحكم في الأسباب المؤدية للتآكل ...

"أيها الأخ الزميل ... عندك تآكل في منظومة التبريد؟ ... سأعطيك لك مضاد تآكل ممتاز وبجرعة ممتازة!!"

هذه المقولة نريد محوها من الوجود! ... ذلك لأننا يجب معرفة سبب التآكل أولاً ونوع المعدن المستخدم ومضاد التآكل المناسب والتركيز (أو الجرعة المطلوبة) ... نعم فنقول ... لا يمكن لأحد على ظهر الأرض يعرف أن لديك برج تبريد فيقول لك عندي بروتكول معالجة ممتاز دون أن يعرف تفاصيل البرج والمياه السارية فيه.

ومن الأمانة العلمية نقول لا يمكننا هنا أن نغطي كل جوانب التآكل لسببين ... أن ذلك علم واسع جداً وأن كل برج تبريد له حالته الخاصة Case study ... ولكن هنا نضع الأساسيات.

من المضحك أن يفكر أحدهم في منع تواجد الأوكسجين الذائب في مياه برج التبريد لمنع التآكل ... فهو كمنع وجود المعدن في المنظومة! ... ذلك بأن المياه في برج التبريد دائماً تصل إلى حالة التشبع بالأوكسجين نظراً لتلامسها المستمر مع الهواء ... لذا يجب التفكير في طرق أخرى لمنع حدوث التآكل.

حتى نقاوم التآكل ... أماننا عدة خيارات:

- ضبط الرقم الهيدروجيني (حيث أن انخفاض الرقم الهيدروجيني إلى مدى الحامضية يسبب التآكل) ولكن يجب الاحتراس من الاتجاه إلى الـ pH المرتفعة أيضاً والتي تسبب ترسب الأملاح scaling.
- استخدام دهانات مقاومة protective coating تمنع وصول الأوكسجين الذائب ومسببات التآكل من التلامس مع سطح المعدن مثل دهان المعدن بطبقة عازلة كالأيبوكسي epoxy أو طبقة من الزنك على سطح الحديد الصلب steel.
- استخدام سبائك alloy مقاومة للتآكل وهذا مكلف وغير عملي.
- استخدام أنود مضيحي sacrificial anode مثل Zn/Mg يتآكل قبل المعدن كما ذكرنا من قبل في الحماية الكاثودية.
- استخدام مواد كيميائية تسمى مضادات أو مثبطات التآكل Corrosion inhibitors أو (anti-corrosion) ... وكل نوع من هذه المواد له وظيفة ... والوظيفة الأساسية هو منع حدوث التفاعلات الكهروكيميائية التي تسبب تآكل المعادن ... ويجب أن تتوزع وتنتشر في كل المناطق المبتلة!

- ومن هنا لنهية هذا النقاش سنتعرف على أنواع الـ Corrosion inhibitors ونذكر أمثلة عليها والتعرف باختصار على كل مركب وبعض المعلومات عن كل مثال ...

في هذا النقاش:

سنتعرف على أنواع مضادات التآكل وأمثلة عليها وسنتحدث بمعلومات وحقائق حولها. سنتحدث عن نتائج أبحاث تقربنا من البروتوكولات الصحيحة في المعالجة. سنتحدث عن التحكم في العوامل التي تؤثر على التآكل وقد ذكرناها في نقاش سابق. ولا شك أن علم التآكل ومقاومته لا يكفيه أيام وشهور ولكننا هنا نؤكد أننا نُلقي بالأساسيات مع بعض التفاصيل للتيسير على من يريد الدخول في هذا المجال ... فإجادة أساسيات اللغة تسهل التعامل بها.

مضادات التآكل (Corrosion inhibitors (anti-corrosion):

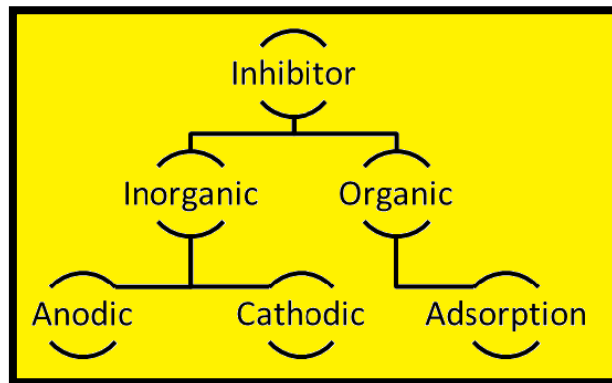
نذكركم بأهم المعادن والسبائك المختلفة المستخدمة في منظومة التبريد ... سواء أكانت للمبادل الحراري أو هيكل البرج أو الحشو أو الحوض السفلي أو الخطوط وغيرها.

Concrete	الخرسانة الأسمنتية
Timber (wood)	الخشب
PVC (Poly vinyl chloride)	بلاستيك البولي فينيل كلورايد
PP (Poly propylene)	بولي بروبيلين
FRP Fiber-reinforced plastic	بلاستيك مدعم بألياف الفايبر جلاس الزجاجية
ABS Acrylonitrile butadiene styrene plastic	بلاستيك "الإيه بي إس"
Steel	الحديد الصلب (معه نسبة من الكربون ومواد أخرى)
Mild steel (Carbon steel)	الحديد الطري (المطاوع) نوع من الحديد الصلب نسبة الكربون بها قليلة.
Galvanized steel	الحديد المجلفن (حديد صلب مغطى بطبقة زنك أو نحاس لحمايته)
Stainless steel	الاستانلس ستيل (حديد مقاوم للصدأ معه كروم ونيكل وموليبيديوم وغيره) (تتكون طبقة سطحية من أكسيد الكروم تعمل (passivation) ... نسبة الكروم 11% أو أكثر.
copper	النحاس
Brass	هو في الحقيقة سبيكة من النحاس مُضاف إليها زنك ... وكلما زاد نسبة الزنك زادت قوة السبيكة مع قابليتها للسحب والطرق ... ولونه يختلف من الأحمر إلى الأصفر حسب كمية الزنك المضافة

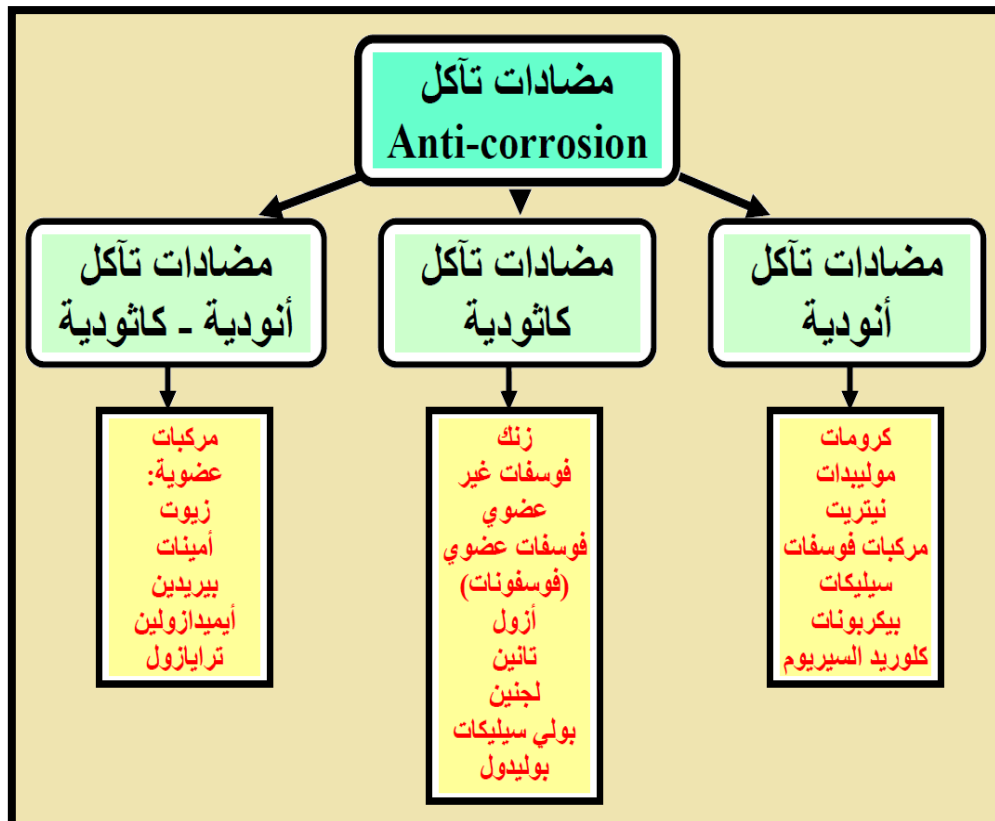
Aluminum	الألومنيوم
Titanium	التيتانيوم

مضادات التآكل وهي ثلاث أنواع:

- 1- مضادات تآكل أنودية Anodic corrosion inhibitor.
 - 2- مضادات تآكل كاثودية Cathodic corrosion inhibitor.
 - 3- مضادات تآكل تقوم بالوظيفتين تسمى anodic-Cathodic mix مثل مضادات التآكل العضوية بشكل عام حيث يحدث امتزاز على الأنود والكاثود وتمنع التآكل.
- والرسم التالي يُقسم مضادات التآكل بالتقسيم الكيميائي:



وتم تجميع أهم أنواع مضادات التآكل في شكل بياني مبسط Diagram وإن كان فيه بعض تقسيمات العلمية الغير دقيقة نظراً لأن بعض المواد تعمل كممانع أنودي وكاثودي ... ولكن وضعناه للتيسير قبل أن نقوم بدردشة عن كل نوع .. انظر:



ويمكننا عمل خلطات بين أنواع مضادات التآكل مع بعضها لتناسب نوع المعادن في الدائرة ...
والآن نشرح كل نوع ونذكر له أمثلة:

1- مضادات التآكل الأنودية Anodic corrosion inhibitors:

ذكرنا من قبل في أول مراحل التآكل أن في منطقة الأنود يحدث وأن ذرة المعدن على السطح تتأكسد فتفقد إلكترونات وتذوب في المياه وذكرنا هذا التفاعل للحديد المتعادل والذي يحدث له أكسدة:



الفكرة هنا أننا نضيف مادة كيميائية تتحد بهذا الأيون الموجب قبل أن يتسلل إلى المياه وتكون معه هيدروكسيد أو أكسيد غير قابل للذوبان ... وتكون النتيجة الرائعة أن تتكون طبقة film تلتصق على سطح المعدن وتمنع وصول الأوكسجين الذائب إلى المعدن ... تسمى هذه الطبقة الـ passive layer أو oxide film ... سمكها في المتوسط من 30 - 200 أنجستروم ... والعملية تسمى ... passivation ... وهي طريقة ممتازة لمنع التآكل ...

والمادة التي تكون الـ passive layer يتم اختيارها على أسس علمية ... من هذه الأسس:

- 1- تصنع طبقة فوق المعدن.
- 2- تمكث على سطح المعدن مدة طويلة ... والأفضل أن يحدث امتزاز كيميائي chemical adsorption وليس امتزاز فيزيائي physical adsorption على السطح ... كما أن الروابط التساهمية covalent bonds بين المادة والسطح أفضل من الروابط الألكتروستاتيكية electrostatic bonds من ناحية قوة الرابطة ... والأخيرة يكفي تيار بسيط من الماء لتدميرها!
ومن أهم الأمور أن يكون كل سطح المعدن مغطى بهذه الطبقة وإلا لو كان هناك جزء غير مغطى فسيكون عرضة للتآكل من نوع الـ pitting كما ذكرنا من قبل.
(بعض الشركات تنتج مادة تزيل الباسيفيشن وتعمل باسيفيشن من جديد وتكون الجرعة في أول الامر عالية (مثلاً 60 جزء في المليون تقل 50 ثم 40 ... 20 وهكذا)

أمثلة على الـ Anodic corrosion inhibitors:

الكرومات – النيتريت – الموليبدات – سيليكات – أورثوفوسفات ... وغيرها ... وإليك بعض التفاصيل عن كل مركب:

1- الكرومات (CrO₄²⁻): Chromate

(على هيئة صوديوم كرومات Na₂CrO₄ أو بوتاسيوم كرومات K₂CrO₄) أو الداى كرومات Cr₂O₇ مع البوتاسيوم أو الصوديوم ... هي أفضل المركبات على الإطلاق في منع التآكل ولكنها شديدة السمية على البيئة المائية وأصبح محظور استخدامها ... وتم استبداله بالموليبدات أو مركبات أخرى.

2- الموليبدات (MoO₄): Molybdates

وهي بديل آمن للكرومات وأشهرها موليبدات الصوديوم Sodium Molybdate ورمزه NaMoO_4 ... يحتاج لبينة مائية بها أوكسجين ذائب على الأقل 1 جزء في المليون وتستخدم هذه المركبات بكثرة في دوائر التبريد المغلقة ذات العسر القليل الذي يتراوح عُسره ما بين (Hardness = 20-30) ... سواء المياه اليسرة soft water أو مياه منزوعة الأملاح Demi-water وكانت القلوية زائدة أو قليلة (لا نهتم هنا بالقلوية) (حيث لا يوجد Blow down تقريباً في هذه الدوائر المغلقة) ... وعدم استخدامها مع المياه ذات العسر الكبير يرجع للتكلفة العالية ... ويكون التركيز المستخدم من الموليبدات تبعاً للعسر وقيمة LSI. الموليبدات مانع تآكل يستطيع منع الـ pitting corrosion والـ under-deposit corrosion ... ولكنه ضعيف إلى حد كبير ويجب اقترانه بمانع آخر. يعمل في pH من 7 – 8.5 الجرعة المعتادة تعتمد على أمور كثيرة ... تركيز الكالسيوم والـ LSI ... نوع المعدن الذي نحمله ... نوع التآكل ... نوع الدائرة. فمثلاً:

4 – 8 ppm (as Mo) for pitting corrosion.

8 – 16 ppm (as Mo) for steel.

35 – 250 ppm (as Mo) for closed loop.

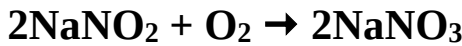
ونكرر ونقول هذه ليست قوانين ثابتة بل تخضع للتجربة وخبرة المعالج وظروف الدائرة وطبيعة المياه.

3- النيتريت Nitrite:

النيتريت وليس النترات ورمزه الكيميائي NO_2^- ... وأشهرها مركبات الصوديوم نيتريت NaNO_2 ... أو الليثيوم نيتريت ... ويعتبر من المركبات الممتازة في عملية منع تآكل الحديد وأقل سمية على البيئة من الكرومات ... وتستخدم دائماً في دوائر التبريد المغلقة (ومنها الشيلرات) closed loop بكثرة وليس الدوائر المفتوحة لأنها تتأكسد بفعل بكتيريا النيترة Nitrification bacteria وتتحول إلى نترات Nitrate (NO_3) لا تقوم بدور في مقاومة التآكل ... ويمكن استخدامها مع مياه الـ demi أو المياه اليسرة Soft water ... وهي مناسبة للحديد والحديد المجلفن والألومنيوم ... ونظراً لأن النيتروجين في النيتريت من أهم المواد المغذية التي تساعد على نمو الكائنات الميكروسكوبية وبالتالي يزيد الفاولينج البيولوجي ... فيتم إضافة مواد بايوسيد ولكن غير مؤكسدة Non-oxidizing biocide ... كما يعيب النيتريت أنه عدواني على معدن النحاس ولا يستخدم معه ... ويجب أن لا يعمل في درجة حرارة أكبر من 65 درجة مئوية ... كما أنه يجب استخدامه بتركيزات عالية (تصل إلى 1000 جزء في المليون كمتبقي في بعض الدوائر NO_2 as) ويجب أن تكون الـ pH عالية (8-11 والأفضل من 10.5-9.5) ... وأيون الهيدروكسيل يكون متوافر بتواجدها في المياه ... باستثناء الألومنيوم الذي يعمل تحت pH أقل من 9 ولكن نحتاج هنا لتركيزات عالية جداً من النيتريت تصل إلى 10000 جزء في المليون!

وبعض الأنظمة التي تستخدم نحاس مع حديد صلب تحتاج لنسب من النيتريت تصل من 5000 – 7000 جزء في المليون!

النيتريت يعمل ككاسح للأوكسجين Oxygen scavenger يتفاعل مع الأوكسجين الذائب في الماء فيمنعه من نشاطه في التآكل وتتحول النيتريت إلى نترات Nitrate:

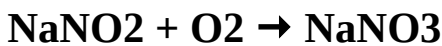


حتى أنه في بعض الأنظمة كي يتم التخلص من النيتريت يتم استخدام طريقة التهوية Aeration.

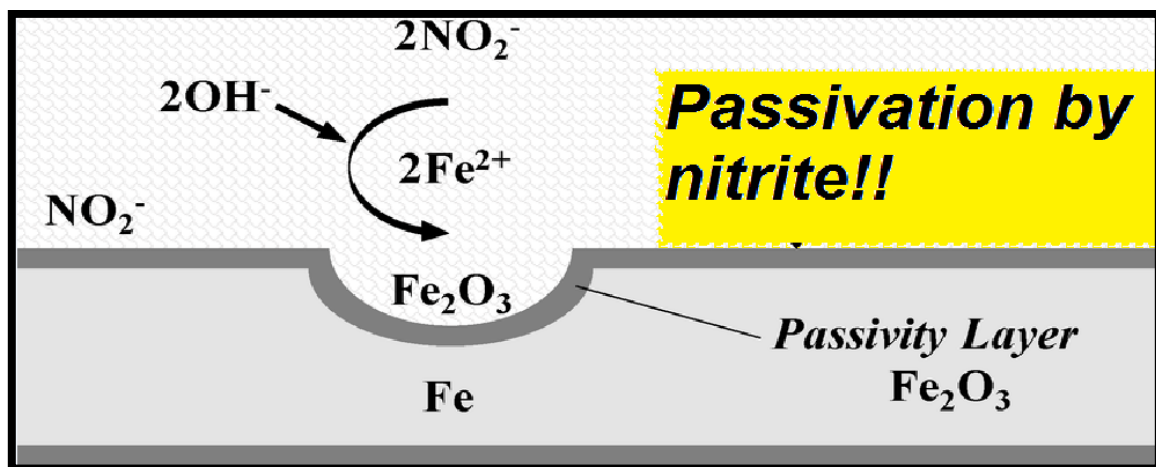
عندما يذاب نيتريت الصوديوم في المياه ... فإن المحلول الناتج يكون قلويًا والأس الهيدروجيني pH يكون عالياً نظراً لتكون أيون الهيدروكسيل:



يقوم نيتريت الصوديوم بامتصاص الأوكسجين الذي يسبب التآكل ويتحول النيتريت إلى نترات:



كما أنه يكون طبقة الحديد المؤكسد المستقر الثلاثي (المجنيثيت) على سطح الحديد انظر الصورة التالية:



كما قلنا أنه يجب وضع البايوسايد مع النيتريت ... ومن أسباب ذلك بجانب منع البايوفاولينج ... منع البكتيريا التي تحول النيتريت إلى أمونيا وهي ال nitrite reducing bacteria أو ما نسميها De-nitrification bacteria ويُفقد مع الوقت ... انظر التفاعل التالي وأسماء بعضاً من هذه البكتيريا وغيرها:



Examples: *Thiobacillus denitrificans*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*.

ووجد عملياً في بعض الدوائر المغلقة أن تركيز النيتريت لو كان أقل من 850 جزء في المليون فإنه يُهاجم المعدن ويُسبب تآكل من نوع ال pitting! والسبب سنذكره بعد قليل ... ولذلك يتم خلطه في هذه الحالة مع مولبيدات مثلاً كمانع للتآكل بنسب خلط معينة (50 % 50 أو 60 % مولبيدات و 40 % نيتريت).

ويستخدم التانين بدلاً من النيتريت في الدوائر المغلقة في بعض أنواع الشيلرات كما سيأتي بعد ذلك.

وحول أقل نسبة مسموح بها للنيتريت تحدث الزملاء:

المهندس أحمد حميدة سالم:

معروف أن التركيز القليل للنيتريت يسبب pitting corrosion لكن الاختلاف في قيمة النيتريت التي تسببه ... فالأفضل في جميع الأحوال أن يكون المتبقي Residual في حدود ١٠٠٠ ppm ... وهناك مراجع تتكلم لو أقل من ٦٠٠ ppm يسبب pitting corrosion.

المهندس محمود محمد نجيب:

عند نالكو يبدأ الرينج من 550 جزء في المليون ... والجمعية الأمريكية لمهندسي التبريد والتدفئة وتكييف الهواء (Ashrae) وضعت مدى ما بين 700 – 1200 جزء في المليون.

المهندس محمد عويس أبو الفضل:

من 600 إلى 1500 جزء في المليون والأفضل يكون في حدود 1000 جزء في المليون.

المهندس أيمن عوني عيد:

المواصفات الإنجليزية تقول 1000 ppm nitrit ... هذا بالنسبة للتشيلر وغلايات المياه الساخنة والنسبة محسوبة علي أساس أن الكلورايد ٤٠ جزء في المليون ... ولو زاد الكلورايد فكل 1 ppm زيادة يحتاج 25 ppm نيتريت ولو نسبة الكلورايد في مياه التغذية ٣٠ مثلاً سيكون النيتريت المطلوب لهذه الدائرة ٧٥٠ جزء في المليون وهكذا.

(بالنسبة للمواصفة الإنجليزية British standard ... كل 1 جزء في المليون كلورايد يحتاج 25 جزء في المليون نيتريت ويمكن تنسيبها لأي نسبة بعد ذلك).

لماذا النيتريت يجب أن لا يقل عن معدل معين ولا يزيد عن معدل معين؟؟

عندما يقل نيتريت الصوديوم عن حد معين يسبب المزيد من التآكل أفضل من عدم وضعه! وذلك لأنها لا تكون كافية لعمل passivation على كل السطح وبالتالي المنطقة التي لم يتم عمل passivation جيد لها - وهي منطقة الأنود - تصبح منطقة لفقد المعدن من خلال التفاعل الجلفاني وبالتالي يحدث تآكل "النقر" Pitting corrosion.

وعندما يزيد نيتريت الصوديوم عن حد معين يُسبب تدمير ميكانيكي لموانع التسريب والحشوات gaskets والخرائط hosing بسبب أنه مؤكسد قوي ... كما أن عند تركيز أعلى يزيد الأملاح الكلية الذائبة TDS عن الحد المسموح به ... وبالتالي مكان التسريبات يحدث تبخر للمياه وتتراكم الأملاح على موانع التسريب وتسبب لها تدمير بسبب Abrasion.

4- مركبات الفوسفات وسنشرحه بالتفصيل بعد قليل لأنها تُعتبر أيضاً من النوع الكاثودي.

5- سيليكات Silicate: أشهره البولي سيليكات poly silicates ... وهو ممتاز للحديد والألمونيوم وبجرعة متوسطة من 6 – 12 جزء في المليون ولكنه ليس شائعاً لصعوبة تكوينه.

6- مركبات أخرى أقل شهرة مثل: Cerium chloride والبيكربونات.

2- مضادات التآكل الكاثودية Cathodic corrosion inhibitors:

ذكرنا من قبل ... أنه في منطقة الكاثود ... يحدث وأن تهاجم أيونات الهيدروجين أو الأوكسجين (تبعاً للـ pH) الكاثود وتتحد بالألكترونات المشاغبة القادمة من الأنود فينتج هيدروكسيد والذي بدوره يتحد بالأيون الموجب للمعدن الذي ذاب في منطقة الأنود ويتكون هيدروكسيد المعدن (وهو الصدأ) ... لو استطعنا عمل طبقة أو راسب precipitate على سطح الكاثود تمنع الأوكسجين والهيدروجين من التسلسل إليه فإننا بذلك قد أغلقنا سكة التفاعل المؤدية إلى تكون الصدأ وقل بالطبع معدل التفاعل عند الأنود ... يعني نعمل blocking لمنطقة الأنود.

هذا هو المطلوب! مادة كيميائية تسمى Cathodic corrosion inhibitor تقوم بعمل طبقة على سطح الكاثود بطريقة ما! ... إما أن تتحد بأيونات موجودة في الماء وتكون راسب على الكاثود ... أو تتحد بالمعدن نفسه لتكون راسب على هذا الكاثود ... وتحت هذه الكلمات تحدث كما تشاء وقم بتأليف أي مادة كيميائية تقوم بهذا الدور!

أمثلة على الـ Cathodic corrosion inhibitors:

يقوم هذا النوع بوقف التفاعل الكهروكيميائي عند الكاثود! قاعدة تضعها في اعتبارك ... وجود نسبة من أملاح المعادن الثنائية التكافؤ وأهمها أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم في المياه نقطة مهمة جداً حيث أنه يعتبر مانع تآكل كاثودي للـ carbon steel والنحاس وسبائكه ... تتفاعل مع أيون الهيدروكسيد في المياه وتكون طبقة عسر غير ذائبة من هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ أوالمغنيسيوم $Mg(OH)_2$ على سطح المعدن ... هذا إلى جانب تكوينها لقشور من طبقة الكربونات على سطح المعدن ... وبالتالي فوجود هذه الأيونات في المياه الخام يعتبر ميزة لأنها تقلل من استهلاك الكيماويات التي سنتحدث عنها الآن (بشرط أن تكون نسبة معقولة وليست عالية) ... وبالتالي فإن وضع السوفتندر في المعالجة الأولية قبل برج التبريد ليس من الحكمة إذا كان تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم ليس مرتفعاً!

وإليك أمثلة علي موانع الترسيب الكاثودية التي يتم إضافة بعضها في مياه التبريد:

1- الزنك Zinc:

يتم إضافته كبديل عن الكالسيوم والمغنيسيوم لو كان تركيزهما قليل في المياه ... وهو يتفاعل مع أيون الهيدروكسيد في المياه مثل الكالسيوم والمغنيسيوم ليكون طبقة غير ذائبة من هيدروكسيد الزنك $Zn(OH)_2$ على الجزء الكاثودي من سطح المعدن فيحميه من التآكل ... فعند pH أعلى من 7.5 يترسب على هيئة هيدروكسيد أو كأملح عضوية متعددة تُضاف معه كموانع ترسيب ... ويتفاعل الزنك أيضاً مع الكربونات ليكون طبقة عازلة على سطح المعدن.

ويُضاف الزنك بنسبة بنسبة 0.5 إلى 2 جزء في المليون ولا تزيد عن هذه النسبة حفاظاً على البيئة ... ويجب الاحتراس من الجرعات الغير منضبطة منه لأنها تؤدي لتكون القشور scale. تحذير: قد يفقد الزنك قدرته على الترسيب كهيدروكسيد وبالتالي تضعف حمايته للمعدن من التآكل بسبب وجود تركيز عالي من الكلورايد ويجب إعادة أو تعديل في برنامج المعالجة. النيكل أيضاً يقوم بنفس وظيفة الزنك إذا أردنا الحديث عن بديل للزنك ولكنه غير مشهور. أمر آخر وهو الشق المرتبط بالزنك يُفضل أن يكون كلورايد وليس كبريتات ... أي $ZnCl_2$ بدلاً من $ZnSO_4$... والسبب في ذلك أننا نُضيف غالباً حمض الكبريتيك الذي يرفع تركيز الكبريتات في المياه وبالتالي فتبعاً لقاعدة ال Common ion effect تحرر الزنك من زميله الكبريتات يقل لأن تركيزها عالي في المياه وبالتالي تضعف وظيفة الزنك في مقاومة التآكل.

توضيح أكثر للمحاضر:

ببساطة أننا نريد تحرر الزنك من المركب الذي نضيفه على الماء ... الزنك المتحرر هو من سيقوم بالحماية ضد التآكل ... عندما نضيف كبريتات الزنك في المياه تتحلل إلى كبريتات و زنك ... لو كان في المياه تركيزات عالية من الكبريتات بسبب إضافة حمض الكبريتيك فإنها تسبب تأخير لتحلل مركب كبريتات الزنك بسبب القاعدة الكيميائية Common ion effect وهي أن التفاعلات تتجه باتجاه معاكس لو كانت المواد الناتجة بتركيزات عالية ... وبالتالي يبقى الزنك مرتبط بالكبريتات ويتحرر بصعوبة ... أما لو كان على هيئة كلوريد الزنك فسيكون تحلله أسرع وأسهل وبالتالي يتحرر من أيون الكلورايد ويقوم بوظيفته ويدخل بقوة في مقاومة التآكل.

استفسار أحد الزملاء:

لو تركيز الكلوريدات أعلى في هذه الحالة ... الأفضل يبقى الزنك ذائباً على هيئة كبريتات زنك؟

رد المُحاضر:

هذا السؤال يرجعنا للأصل ... وهو أهم شيء نركز عليه ... وهو أن لكل برج تبريد حالته الخاصة لا يمكن تعميم أي شيء على كل شيء.

استفسار أحد الزملاء:

ما هو سبب أن مادة الزنك المستخدمة كمانع تآكل تترسب داخل الكوندنسير Condenser؟

إجابة الدكتور أحمد أنور أحمد:

راجع قيمة ال pH وتأكد أنها ليست عالية (لا تزيد عن 8.5) والأفضل من 8 – 8.2.

2- مركبات الفوسفات الغير عضوية:

ويستخدم كثيراً في أبراج التبريد لحماية تآكل الحديد حتى يصل إلى بي إتش 8.4 حد أقصى (والأفضل من 7.5 – 7).

وأهم أمثلته أملاح الفوسفات (سواء أكان أورثوفوسفات PO_4 Orthophosphates ومركباته بجانب وظيفته كمانع تآكل أنيوني أو بولي فوسفات Polyphosphates الذي يتكون من جزيئين أو أكثر من ال PO_4 مع مركبات مختلفة).

(الأورثو فوسفات Orthophosphate: هو المركب الذي يحتوي أساساً على ال PO_4). يتم إضافة هذه المركبات حيث تتحد بالكالسيوم الموجود في الماء أو الزنك المضاف وتكون ملح غير ذائب من الكالسيوم أورثو فوسفات يترسب على سطح المعدن أو الزنك فوسفات zinc phosphate or zinc phosphate polymer (الفوسفات تتحد مع الحديد لتكون طبقة حماية أولية Primary Protective Film من أكسيد الحديد ثم تتحد بالكالسيوم).

لكي يقوم الفوسفات الغير عضوي بعمله فلا بد للكالسيوم أن لا يقل تركيزه عن 50 جزء في المليون. جرعة الأورثو فوسفات من 2 - 20 جزء في المليون في المتوسط. وبدون إضافة زنك يعمل كمانع تآكل أنودي في التركيزات القليلة وعندما نزيد تركيزه يعمل كمانع تآكل أنودي وكاثودي Dual mechanism أو نسميه mixed type. وهكذا القاعدة تقول: "الفوسفات عادة ما يكون أنودي ثم يصبح "mixed".

بعض البكتيريا تفرز أنزيمات تحول البولي فوسفات إلى أورثوفوسفات بال Hydrolysis والأورثوفوسفات بدورها تترسب بسهولة مع الكالسيوم فتتكون ال [Calcium phosphate deposits](#). [البولي فوسفات جيد إلى حد ما ولكن يجب الحذر عند استخدامه لأنه يحدث له hydrolysis وينتج الأورثوفوسفات.](#)

وتذكر أن:

- الفوسفات نضجه لمنع التآكل لكن هو نفسه قد يكون scale بل يكون مواد مغذية للبكتيريا.
- الكالسيوم فوسفات عُرضة للترسيب.
- الزنك فوسفات في ال pH العالية يترسب.
- تركيزه من 2 - 6 جزء في المليون ولا يزيد عن 20 جزء في المليون في أغلب الدوائر.

3- الفوسفونات Phosphonates والبولي فوسفونات Poly-Phosphonates:

هي في الحقيقة ... أول من يختارها ويفضلها برج التبريد في قائمة موانع التآكل! ... وهي مركبات عضوية ترتبط فيها ذرة الفوسفور بالكربون C-P وتركيبها الكيميائي العام: C-PO(OH)_2 or C-PO(OR)_2 ... حيث تشير ال R إلى مجموعة ألكيل هيدروكربونية ... ومن أمثلة الفوسفونات ال فوسفينو ساكسينيك أوليجمر (PSO) Phosphino succinic oligomer ... وتتفاعل أيضاً الفوسفونات مع الكالسيوم والزنك مثل الفوسفات ... ولذا الكالسيوم بتركيز لا يقل عن 50 جزء في المليون مطلوب مثل حالة الفوسفات الغير عضوي.

أحد المميزات في الفوسفونات أنه لا يتحول إلى أورثوفوسفات وبالتالي لا يحدث ترسب لأورثوفوسفات الكالسيوم بعكس البولي فوسفات!

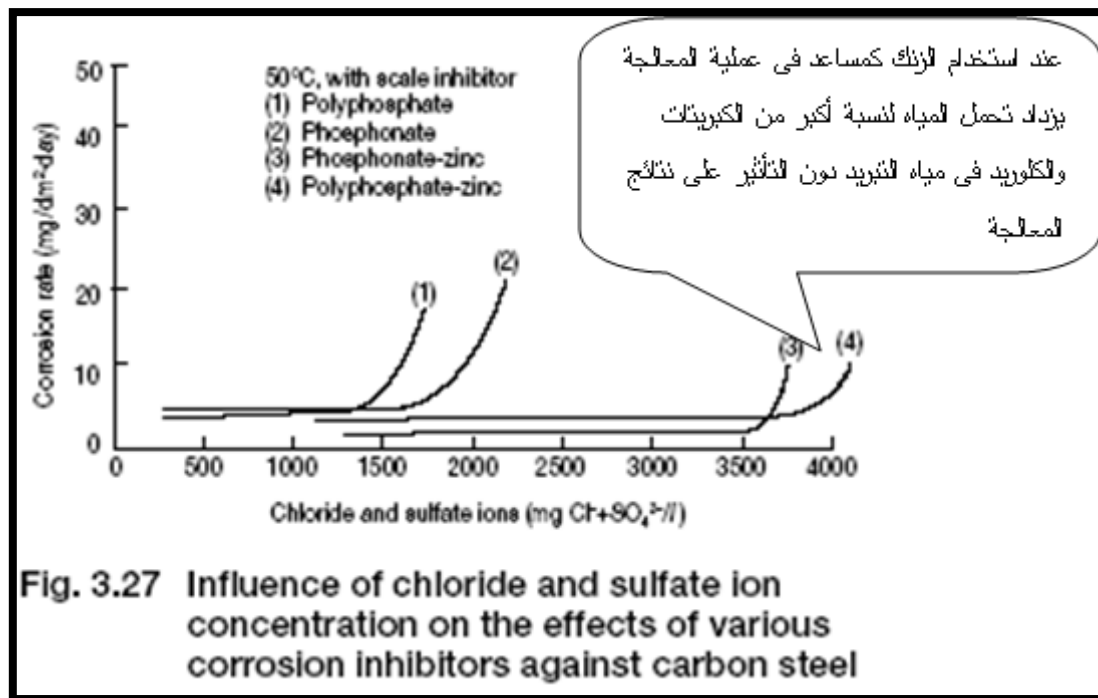
والسبب في ذلك أن اتحاد الكربون بالفوسفور يسبب ما يُسمى بال hydrolytic stability ضد الترسيبات.
والجرعة المتوسطة من 12 - 20 عند pH من 7 - 9.

استفسار أحد الزملاء:

حسب علمي بأن الفوسفونات يعمل مانع للتكلسات؟ هل هو نفسه الأنيتيسكلنت الذي يستخدم في محطات RO؟

رد المُحاضر:

في أبراج التبريد يستخدم الفوسفونات كمانع تآكل ومانع تكلسات ... فله وظيفتين.
والرسم البياني التالي يوضح أهمية إضافة الزنك مع البولي فوسفات أو البولي فوسفونات فهو يقلل معدل التآكل حتى مع زيادات أكبر للكلورايد والكبريتات التي تساهم في التآكل:



نجد في الرسم السابق ... أكبر معدل نسبي للتآكل عند استخدام البولي فوسفات وحده ... ثم يقل معدل التآكل مع استخدام الفوسفونات ... ويقل أكثر عند إضافة الزنك مع الفوسفونات ويقل أكثر وأكثر مع استخدام الزنك مع البولي فوسفات ... وآخر خلطة هي سر من بعض أسرار الشركات العالمية!
مركب ال HPA أو ال Hydroxy phosphonic acid مثلاً يحتوي عادة على مجموعة كربوكسيل COOH تعمل كمثبط أنودي في حالة وجود عسر قليل في مياه التبريد ... وفي حالة وجود عسر كبير تعمل هذه المادة على منع التآكل بصورة كبيرة تنافس برنامج المعالجة الذي يستخدم الزنك والفوسفات معاً.

الزنك مع الفوسفونات كقاعدة يقلل كمية الفوسفونات بالمقارنة لو تم استخدام الفوسفونات وحدها.

المهندس عمرو عبدة عن برنامج الزنك:

برنامج الزنك برنامج ممتاز إذا تم في برنامج معالجة صحيح متكامل.

المهندس أيمن عوني عن برنامج الزنك:

راجع قيمة ال pH وتأكد أنها ليست عالية (لا تزيد عن 8.5) والأفضل من 8 – 8.2. الزنك Cathodic anti corrosion ... والزنك يسموه Sacrificing Anode أو القطب المضحى به ويكون في دوائر أبراج التبريد ... ويتم لحامه في طبق الكوندينسر ... ويقوم بعمل passivation ويستخدم للتغطية بعد الغسيل الكيميائي... وطبعاً يستخدم أيضاً في برامج المعالجة مع الفوسفونات ... ووجود الزنك بنسبة كبيرة قد يُسبب Erosion أو التآكل الميكانيكي.

سؤال متدرب:

كيف يعمل الزنك على منع التآكل في أبراج التبريد؟

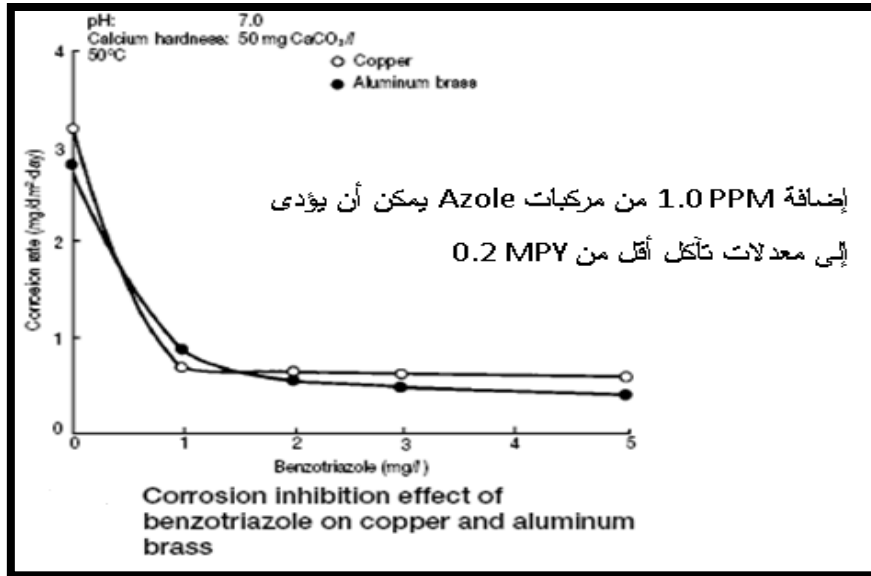
يقول المهندس أيمن عوني عيد:

الزنك يكون في البرج في حدود 4 ppm ... ويمنع التآكل عن طريق عمل طبقة من الزنك على مواسير الحديد علي المواسير من الخارج (الكويل coil) إذا كان برج التبريد (condenser evaporative) ... أما ان كان برج تبريد Cooling tower عادي يعمل علي condenser فتكون طبقة الزنك من داخل الماسورة ... وفي الحالة الأخيرة يجب أن يكون في التركيبة مانع تآكل للنحاس أيضاً مثل Toly triazole أو benzo triazole ... وهذه الطبقة لا تقلل معدل الانتقال الحراري ... فهي طبقة خفيفة مثل البودرة تستطيع إزالتها "بفوطه" مثل الطباشير. وهناك نقطة مهمة جداً في هذا الموضوع ... فطبقة الزنك هذه تتلاشى لو pH انخفضت عن 6.5 أو زادت عن 8.5 وتتحول إلى suspended solids والتي من الممكن تسبب تآكل ميكانيكي Erosion ... لذلك يجب المحافظة علي قيمة ال pH.

4- مركبات الأزول Azoles العضوية:

وهي عائلة أخرى تعمل مع المعادن الصفراء yellow metals! ... تتحد بالمعدن نفسه الذي نريد حمايته وتكون أملاح غير ذائبة على السطح أيضاً (أكاسيد نحاس) ... وأهم أمثلته الأزول مثل:

Benzotriazole (BZT) - Tolyltriazole (TTA) - Mercaptobenzothiazole (MBT) والحقيقة أن مركبات الترايازول تكون طبقة film عازلة على السطح سواء الأنودي والكاثودي وتستخدم بكثرة وبكفاءة مع دوائر التبريد خصيصاً والتي تحتوي على المبادلات الحرارية النحاسية وسبائكه ولذلك تسمى Yellow metal inhibitors كما تستخدم مع الألومنيوم بتركيز صغير جداً (من 2- 8 جزء في المليون في المتوسط) ... ويظهر ذلك في الشكل التالي:



نستطيع التنبؤ بكفاءة الترايازول وجرعته المناسبة من خلال قياس النحاس بالمياه والذي يجب أن يكون صفراً (يعني Nil ... يعني لا يوجد تآكل) ... وبعض الأجهزة المعملية تقيسه مثل أجهزة هاك وغيرها ... هذا إلى جانب اختبار الكوبون الذي سنشرحه فيما بعد.

الدكتور أحمد أنور أحمد:

العملاء يطلبوا معدل تآكل النحاس أقل من 0.1 وبفضل الله كانت آخر نتيجة حققناها لكوبون النحاس 0.035 mpy وموضوع في البروتوكول حساب ال copper inhibitor ... فالبرنامج يحتوي على Azole ... ومكان وضع الكوبون في خط الراجع بعد المبادل.

5- مركبات أخرى أقل شهرة في موانع التآكل مثل التانين tannins واللجنين lignins والبولي سيليكات Polysilicate أو البوليديول Polydiol والذي يعمل كمشتت للأملاح (أنتيسكيل أيضاً) كم سيأتي.

ويعتبر التانين Tannin أو باسمه الثاني Tannic acid مركبات بولي فينولية Poly-phenolic تذوب في الماء ... والفينول عبارة عن حلقة بنزين مرتبط بها جزيء الهيدروكسيد ... أما البولي فينول فيحتوي على عدد أكبر من الهيدروكسيدات مع تشكيلات من الأشكال الكيميائية لسنا هنا بصدددها ... وبما أنه مادة عضوية فهو يسبب فاولينج عضوي Organic fouling ونضطر لتنظيف الشيلر كل فترة منه بجانب أنه غذاء للكائنات الميكروسكوبية والذي يزيد من نموها ... لذا يجب وضع البيوسيد معه تماماً مثل النيتيريت.

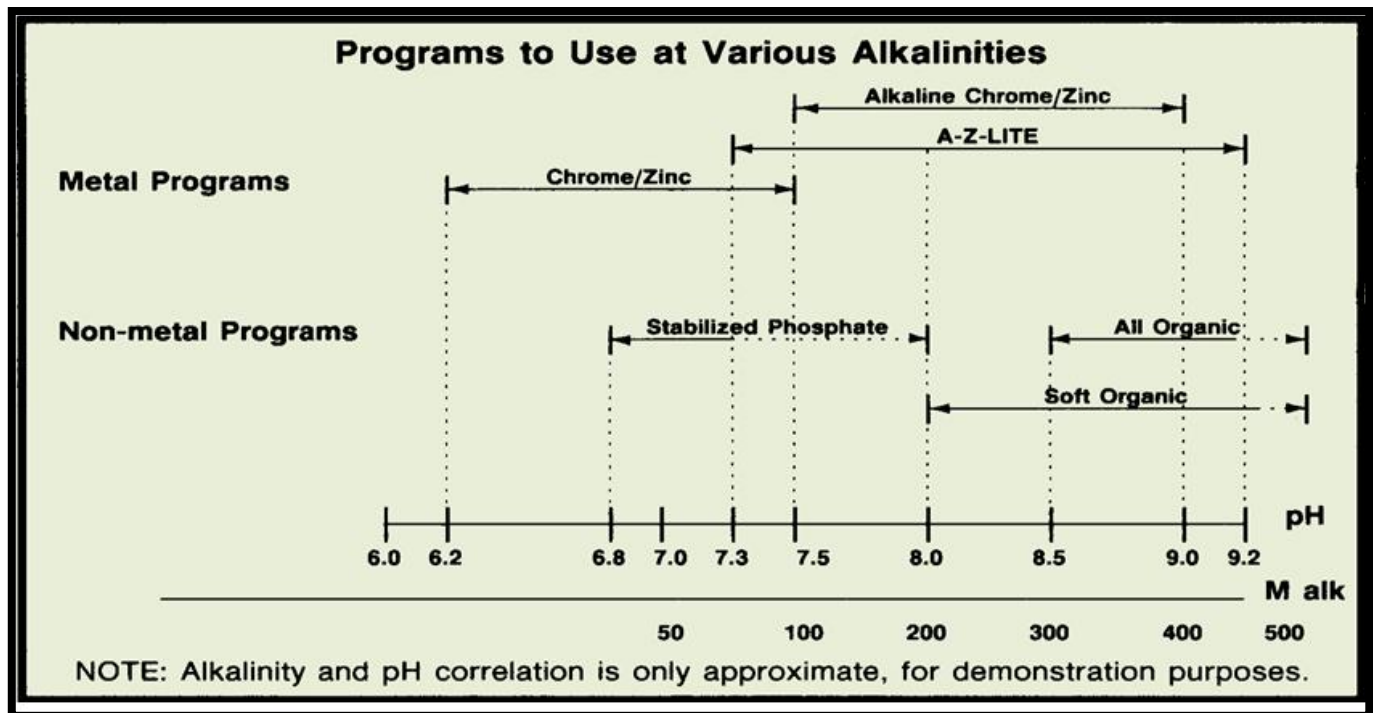
أمثلة على ال anodic-Cathodic mix :

بجانب الأمثلة السابقة التي رأينا فيها بعض مضادات التآكل تلعب على الأنود والكاثود فهناك موانع التآكل العضوية مثل مركبات الأمين amines أو البيريدين Pyridines أو الإيميدازولين imidazoline أو ال surfactants أو الزيوت الذائبة soluble oils أو أنواع من الترايازول مثل

الTolytraiazole والBenzotriazole وتتحد ببولييمرات ... أيضاً تتكون كطبقة متمزة adsorbed film على سطح المعدن سواء منطقة الكاثود أو الأنود. التولي ترايازول يُضاف بنسبة 1 – 5 جزء في المليون لحماية النحاس. شركات تكرير البترول تعتمد كثيراً على موانع التآكل العضوية نظراً لقدرتها على عمل طبقة حامية على سطح المعادن نتيجة محتوى كبير من الهيدروكربونات.

جرعة مضادات التآكل:

يُفضل في العموم أن تُضاف الجرعة باستمرار continuous ... وإن حدث عطب في الطلمبة يتم إضافته يومياً (وليس أسبوعياً) أو على عدة مرات في اليوم الواحد لتعويض العطب في وظيفة الطلمبة. وهذا رسم توضيحي يجمع عدة مركبات مانعة للتآكل ومدى القلوية والpH التي تعمل فيها لنعلم أن موضوع المعالجة يتم بناء على دراسة وليس عمل عشوائي:



سؤال متدرب:

حوالي ٣ شهور أضيف مانع تآكل لبرج التبريد مرة واحدة أسبوعياً وليس حقن مستمر لوجود عطل بطلمبة الحقن هل هذا يؤثر على زيادة الأملاح في البرج؟ وهل لو استمرت على الحقن shock dose دائماً يؤثر في شيء؟

رد المهندس عمرو عبدة:

أولاً لو يوجد عطل في طلمبة الحقن فيكون الحقن يومياً وليس أسبوعياً وأيضاً الأفضل أنه يقسم على مرتين خلال اليوم الواحد.

المهندس أحمد أحمد ماضي:

هناك أنواع من أبراج التبريد تسمى Evaporate condenser هذه الأبراج يتم تبريد الأمونيا بداخلها ... عن طريق التجربة لابد من استخدام مياه soft water نتيجة لارتفاع الـ skin temperature داخل مياه البرج وبالتالي إمكانية الترسيب ستكون مرتفعة لذلك يُنصح باستخدام مياه سوفت ولكن مياه التبريد في هذه الحالة ستكون ميولها تآكلية tendency to corrosion ... لذلك يُنصح باستخدام برنامج معالجة بـ Zinc phosphate مع إضافة بوليمر مخصوص مانع للتآكل.

تعليق المهندس عبد العزيز عبد الغنى السبئي:

الطرق المتبعة في ضبط التآكل:

هناك خمس طرق أساسية لضبط التآكل وهي:

- 1- 1- التغيير في بنية المادة: يُمكن أن يكون هذا التغيير كلياً أو جزئياً.
التغيير الكلي: وهو خطوة هامة في هذا المجال فمثلاً عند استخدام الفولاذ في الوسط الحمضي يمكن الحصول على نتيجة أفضل عند استبداله بالنحاس أو النيكل أو خلاط الاستانلس ستيل.
التغيير الجزئي: وذلك عند تغيير نوع السطح الملامس للوسط المحيط.
- 2- تغيير الوسط المحيط:
يتم ذلك من خلال بعض الإجراءات مثل: استخدام موانع التآكل - كسح المواد الآكلة - تغييرات بسيطة في الحرارة أو الضغط.
- 3- حواجز مضادة للتآكل:
حيث يعتبر الطلاء من أهم الحواجز المتبعة في هذا المجال .
- 4- الحماية الكهروكيميائية:
وهي كل ما يدرج تحت ما يسمى بالحمايات الكاثودية أو الأنودية .
- 5- الطريقة الخامسة وهي تتنوع من إنقاص بسيط للتآكل إلى تغييرات نوعية لأنواع خاصة من المعدات و تتضمن هذه الاعتبارات مايلي:
أ- إنقاص التآكل.
ب- ضبط سرعة التآكل.
ج- استخدام فتحات التصريف.
د- تخفيف الإجهاد ويتضمن الإجهاد الحراري والإجهاد الميكانيكي.
- 6- موانع التآكل (مثبطات التآكل):
يطلق هذا المفهوم على المواد التي إذا أدخلت إلى الوسط الأكال فإنها تخفض سرعة التآكل للمعدن عند تماسه مع وسط أكال .

تستخدم موانع التآكل على نطاق واسع في مجال حماية المعادن من التآكل في الجمل المفتوحة والمغلقة ... وتستخدم أيضاً من أجل الوقاية المسبقة من ظاهرة التآكل وذلك للكثير من المعدات والأجهزة في مختلف فروع الصناعة ويمكن التعرف على آلية عملها ببساطة حيث تتم دراسة خصائص المادة الآكلة ومن ثم استخدام المثبطات المناسبة لها والتي تقوم بتشكيل طبقة ترتبط

بشكل الكتروليتات مع المعدن تمنع وصول المادة الآكلة إليه وتكون لهذه الطبقة سماكة معينة وذلك حسب فعالية مثبط التآكل.

7- تصنيف مثبطات التآكل:

حسب التركيبة الكيميائية: مثبطات عضوية ومثبطات لا عضوية .

حسب قيمة PH الوسط التي تستعمل فيه: مثبطات حمضية - مثبطات قلوية - مثبطات معتدلة .

حسب شروط استخدام المثبطات: مثبطات طيارة و مثبطات المحاليل .

حسب آلية التأثير: مثبطات أنودية - مثبطات كاثودية - مثبطات مختلطة .

المثبطات الأنودية:

تسبب عرقلة في التفاعلات الأنودية وتنتمي لهذه المجموعة المؤكسدات اللاعضوية (الكرومات والنيتريت) و كذلك المركبات التي تشكل على سطح المعدن راسب صعب الانحلال أمثال (NaOH , Na_3PO_4 , Na_2CO_3).

المثبطات الكاثودية:

تؤثر على سرعة التفاعلات الكاثودية وتنتمي لهذه المجموعة المواد المرجعة التي تتحد مع الأوكسجين وتخفف محتواه في المحلول مثل سولفيت الصوديوم والهيدرازين والمواد الواقية لسطح الكاثود نتيجة لتشكيلها طبقة رقيقة من مركبات صعبة الانحلال مثل ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, ZnSO_4).

المثبطات المختلطة:

تبطئ التفاعلات الأنودية و الكاثودية المتسببة في عملية التآكل وعلى قدم المساواة وإلى هذا النوع من المثبطات تنتمي البولي فوسفات والسيليكات.

8- الحماية المهبطية:

تعتمد على شحن المنشآت المعدنية أو الملامسة للأوساط التشردية بشحنة كهربائية سالبة بحيث يحصل عليها استقطاب مهبطي إلى درجة كمون معينة ولهذه الغاية يستعمل تيار كهربائي مستمر بحيث يوصل المأخذ السالب بالجسم المراد حمايته والموجب بمصاعد من الحديد أو الفحم تركيب في نفس الوسط التشردي المحيط بالجسم المعدني.

أما المبادئ الأساسية للحماية المهبطية:

1- في أي نوع من خلايا التحليل الكهربائي ومهما كان سبب جريان التيار الكهربائي يحدث دوماً تآكل في المصعد أما المهبط فلا يحدث له أي تآكل.

2- يتصرف السطح الداخلي وكأنه مهبط أما النقاط التي تغادر منها التيارات فتقوم بدور المصعد ويحدث عندها التآكل.

3- عملية تآكل المعدن هي تلك المرحلة التي تتحول فيها ذرات هذا المعدن إلى شوارد موجبة وفي حال وصل سطح معدن إلى قطبية سالبة مناسبة (تؤمن عدد كاف من الشحنات السالبة) عندها تخضع كل شاردة حديد موجبة إلى عملية تعادل كهربائي وبالتالي لا يصبح هناك أي شحنات موجبة تساعد على تأين المعدن.

سؤال لمتدرب:

عندي سؤال دائماً من أيام الدراسة ... مناطق الأنود والكاثود تكون على نفس الماسورة مثلاً؟ وكيف تكون هذه المنطقة أنود عن غيرها وهذه كاثود عن غيرها أيضاً؟

رد المحاضر:

المسافة بين الأنود والكاثود ليست نصف متر مثل الخلية الأليكتروليتيّة التي نراها في المعمل ... لكن تكون في أجزاء من الميلي أو إن شئت فقل أجزاء من النانو ... مجرد انطلاق إلكترون من سطح المعدن أصبح هذا الجزء الصغير أنود ... وينتقل الإلكترون إلى المنطقة المجاورة وتحدث التفاعلات المذكورة لتصبح كاثود ... كل هذا في منطقة ميكروسكوبية متناهية الصغر!! ولذلك يكون الصدأ أو التآكل بالعين المجردة يظهر كأنه مكان واحد ولكن لقرب الأنودات والكاثودات جنباً إلى جنب بالملايين ظهر التآكل في المنطقة كلها.

رد الدكتور أحمد أنور بلغة مبسطة:

لو درسنا كيمياء السطوح سنعرف أن الجزيئات تبقى على شكل grains متراسة جنب بعضها ولو دخلنا فيها سنجد اختلافات في الجهود بين مكونات هذه ال grains ... عندما نربط الكيمياء بالكهرباء سنجد علم جديد اسمه "تآكل" ... طبعا الكهرباء تسري في أي معدن عندما يكون فيه اختلاف في الجهد بين طرفي هذا المعدن (كما درسنا سابقاً) ... هذا الجهد هو الذي نتكلم عنه ... يعني عندما يكون في اختلاف في الجهود بين أي grains يحصل فرق جهد وبالتالي مرور تيار كهربائي (يعني حركة إلكترونات) ... حركة الإلكترونات هذه هي التي تعمل كاثود وأنود ويبقى في مناطق على السطح كاثودية ومناطق أنودية ومنها نجد التآكل الذي نراه ظاهر في المعادن.

المهندس مدحت سعيد خليفة:

المولبيدات في الدائرة المفتوحة تكلفتها عالية. وزودنا بالجدول التالي:

Type of corrosion inhibitor	Applicable operational conditions of system	Target corrosion rate	Remarks
Nitrite type	Make-up water; FW* ¹ , SW* ² , DW* ³ Retention time* ⁴ ; No limitation Water temperature; No limitation	Carbon steel; Below 1 mg/dm ² -day (Below 0.005 mm/year) Copper and its alloys; Below 1 mg/dm ² -day (Below 0.005 mm/year)	Biocides for nitrification bacteria should be used in the case of cooling water temperature of 10 to 40°C where the bacteria rapidly grow.
Molybdate-polymer type	Make-up water; FW, SW, DW Retention time; Within 50 days Water temperature; Below 60°C	Carbon steel; Below 10 mg/dm ² -day (Below 0.05 mm/year) Copper and its alloys; Below 1 mg/dm ² -day (Below 0.005 mm/year)	Polymers are used as corrosion inhibitor.
Phosphate-polymer type	Make-up water; FW Retention time; Within 10 days Water temperature; Below 50°C	Carbon steel; Below 10 mg/dm ² -day (Below 0.05 mm/year) Copper and its alloys; Below 1 mg/dm ² -day (Below 0.005 mm/year)	Polymers are used for preventing calcium phosphate scale.

مداخلة متدرب:

أنا بضيف مادة تحتوي على موليبيديت وفوسفونيت تُضاف في النظام المفتوح والمغلق على حسب تعليمات الشركة وال pH تصل في النظام المفتوح إلى 8.5 ومندوب الشركة أكد على هذا الموضوع وقال إن المادة تعمل كمانع ترسيب ومانع تآكل لوجود الموليبيديت والفوسفونيت فيها.

Molybdates, tungstates and some organic acid salts inhibit the carbon steel corrosion. They are more often used in closed cooling water systems than in open recirculating cooling systems because of their higher costs.

المهندس أيمن عوني عيد:

الموليبيدات ممتاز جداً كمانع للتآكل ... والفوسفونات يعمل كمانع للترسيب لكنه غالي الثمن لكن رائع.

سؤال طرح في المنتدى:

سؤال: من واقع خبراتكم ... هل الإستانلس ستيل بأنواعه يحتاج إلى إضافة مضادات التآكل؟ أم يكفي ال passivation الذي يتم على سطحه أثناء التصنيع؟؟

رد المهندس حسن محمد حسن عبد الله:

نعم ... لأن هناك ظروف قد تؤدي إلى تآكل الإستانلس ستيل مثل زيادة تركيز الكلوريدات والكبريتات وكذلك التآكل أسفل الرواسب Under deposit corrosion.

سؤال متدرب:

ما اهمية وجود صفائح الزنك على غطاء الكوندنسر التي تمر فيه مياه برج التبريد؟



رد المُحاضر:

أقطاب مضحية Sacrificial للحماية من التآكل ... راجع مناقشة مقاومة التآكل

المهندس ناجي سعيد عبد المطلب:

وهذه مواصفة المياه لجميع أبراج ايفابكو.

Operation and Maintenance Instructions



Water Chemistry Parameters

The water treatment program designed for your evaporative cooling equipment must be compatible with the unit's materials of construction. Control of corrosion and scale will be very difficult if the recirculating water chemistry is not consistently maintained within the ranges noted in Table 3. In mixed metallurgy systems, the water treatment program should be designed to ensure protection of all the components used in the cooling water loop.

Table 3: Guidelines for Recommended Water Chemistry

Property	Galvanised Steel	Stainless Steel		FRP Towers	FRP Evaporative Condensers & Fluid		
		Type 304	Type 316		Galvanised Coil	Copper Coil	304 Stainless Coil
pH	7.0 – 8.8	6.0 – 9.5	6.0 – 9.5	6.5 – 9.0	6.5 – 8.3	6.5 – 9.0	6.5 – 9.0
pH During Passivation	7.0 – 8.0	NA	NA	NA	?	NA	NA
Hardness as CaCO ₃ (ppm)	50 - 500	<600	<600	< 300	50 to 300	50 to 300	< 300
Alkalinity as CaCO ₃ (ppm)	75 - 400	<600	<600	< 500	50 to 300	50 to 300	< 500
Total Suspended Solids (ppm) *	<25	<25	<25	< 25	< 25	< 25	< 25
Total Bacteria (cfu/ml)	<10,000	<10,000	<10,000	< 10,000	<10,000	<10,000	<10,000
Conductivity (micro-mhos/cm) **	<2,400	<4,000	<5,000	< 5,000	< 2,400	< 4,000	< 5,000
Chlorides as Cl (ppm) ***	<300	<500	<2,000	< 4,000	< 250	< 400	< 400
Chlorides as NaCl (ppm)				< 6,600	< 410	< 660	< 660
Sulfates (ppm)				< 1,000	< 250	< 400	< 500
Silica (ppm)	<150	<150	<150	< 150	< 150	< 150	<150

Note: galvanised coils may require routine passivation if continuously operating with pH above 8.3

* Based on standard EVAPAK® fill

** Based on clean metal surfaces. Accumulations of dirt, deposits, or sludge will increase corrosion potential

*** Based on maximum temperatures below 120F (49C)

If a chemical water treatment program is used, all chemicals selected must be compatible with your unit's materials of construction as well as other equipment and piping used in the system. Chemicals should be fed through automatic feed equipment to a point which ensures proper control and mixing prior to reaching the evaporative cooling equipment. Chemicals should never be batch fed directly into the basin of the evaporative cooling equipment.

EVAPCO does not recommend the routine use of acid due to the pernicious consequences of improper feeding; however, if acid is used as part of the site specific treatment protocol, it should be pre-diluted prior to introduction into the cooling water and fed by automated equipment to an area of the system which ensures adequate mixing. The location of the pH probe and acid feed line should be designed in conjunction with the automated feedback control to ensure that proper pH levels are consistently maintained throughout the cooling system. The automated system should be capable of storing and reporting operational data including pH reading and chemical feed pump activity. Automated pH control systems require frequent calibration to ensure proper operation and protect your unit from increased corrosion potential.

The use of acids for cleaning should be avoided. If acid cleaning is required extreme caution must be exercised and only inhibited acids recommended for use with your unit's materials of construction should be used. Any cleaning protocol, which includes the use of an acid, shall include a written procedure for neutralizing and flushing your evaporative cooling system at the completion of the cleaning.

Control of Biological Contamination

Evaporative cooling equipment should be inspected regularly to ensure good microbiological control. Inspections should include both monitoring of microbial populations via culturing techniques and visual inspections for evidence of biofouling.

Poor microbiological control can result in loss of heat transfer efficiency, increase corrosion potential, and increase the risk of pathogens such as those that cause Legionnaires' disease. Your site specific water

أسف للإطالة ... ولكنها جرعة لابد منها لفهم الإطار العام في مقاومة التآكل.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

Inhibitors coat the surface and prevent corrosion



Metal Surface



Mg	magnesium
Al	aluminium
Zn	zinc
Fe	iron
Sn	tin
Pb	lead
Cu	copper



22

أمثلة ودراسات
وختبرات في
مقاومة
التآكل!!

النقاش الثاني و العشرون :-**22- أمثلة ودراسات وخبرات في مقاومة التآكل!**

تحدثنا في النقاش السابق عن أنواع عديدة من مضادات التآكل ... السؤال الآن ... أمامي هذه المجموعات من المركبات الكيميائية تقاوم التآكل ... وأمامي دائرة برج تبريد أو دائرة تبريد شيللر مغلقة ... ما هو أساس الاختيار؟؟

طبيعة المياه ... توصيات شركة المعالجة ... توصيات الشركة المصممة ... خبرة العاملين ... استخدام برامج سوفت وير تابعة للشركات ذات الخبرة ... جداول Excel بناءً على خبرات المعالج ... قاعدة try and error ... معرفة الميكانيزم لعمل هذه المركبات ... كلها أمور تساعدني في اختيار المواد الكيميائية المناسبة ... ومهم جداً أن نقول أن نوعين من المعالجة لهما نفس الكفاءة ولكن يحكمنا التكلفة فنقارن أيهما أقل تكلفة اقتصادية ونستخدمه مادام يؤدي إلى نفس النتيجة المرضية ...

كما أننا من الممكن أن نستخدم نوعين مع بعضهما!

نعم ...! فمعظم برامج المعالجة الناجحة تستخدم خليط blend من مضادات التآكل ... وهي أكثر نجاحاً من استخدام نوع واحد ...

والحقيقة التي نفخر بها أننا وجدنا بعض الشركات المحلية أصبحت أكثر كفاءة في بروتوكولات المعالجة من الشركات العالمية المعروفة وأسألوا المختصين والعاملين بالمصانع والمجال العملي ... وهو خليط سيقودنا بإذن الله إلى حلنا الكبير بالريادة ... ولكن لابد من قراءة واطلاع وتطبيق عملي وتركيز وبذل الجهد والعرق والإستعانة بالدراسات السابقة حول قصص المعالجة.

تابع الصفحات التالية ومع أمثلة ودراسات وخبرات في مقاومة التآكل من هنا وهناك!

1- خلطات من موانع التآكل!:

- 1- وُجد أن إضافة 2 جزء في المليون من الزنك إلى الفوسفونات بتركيز 10 جزء في المليون تقلل معدل التآكل من 2.2 mils/year إلى 0.9 mils/year (وسيتم شرح هذه الوحدة مع اختبار الكوبون).
- 2- أمثلة أخرى للخلطات:

Molybdate-silicate-azolepolydiol

Phosphonate-phosphate-azole

Zinc-Phosphonates-azole.

Phosphonate – Molybdates.

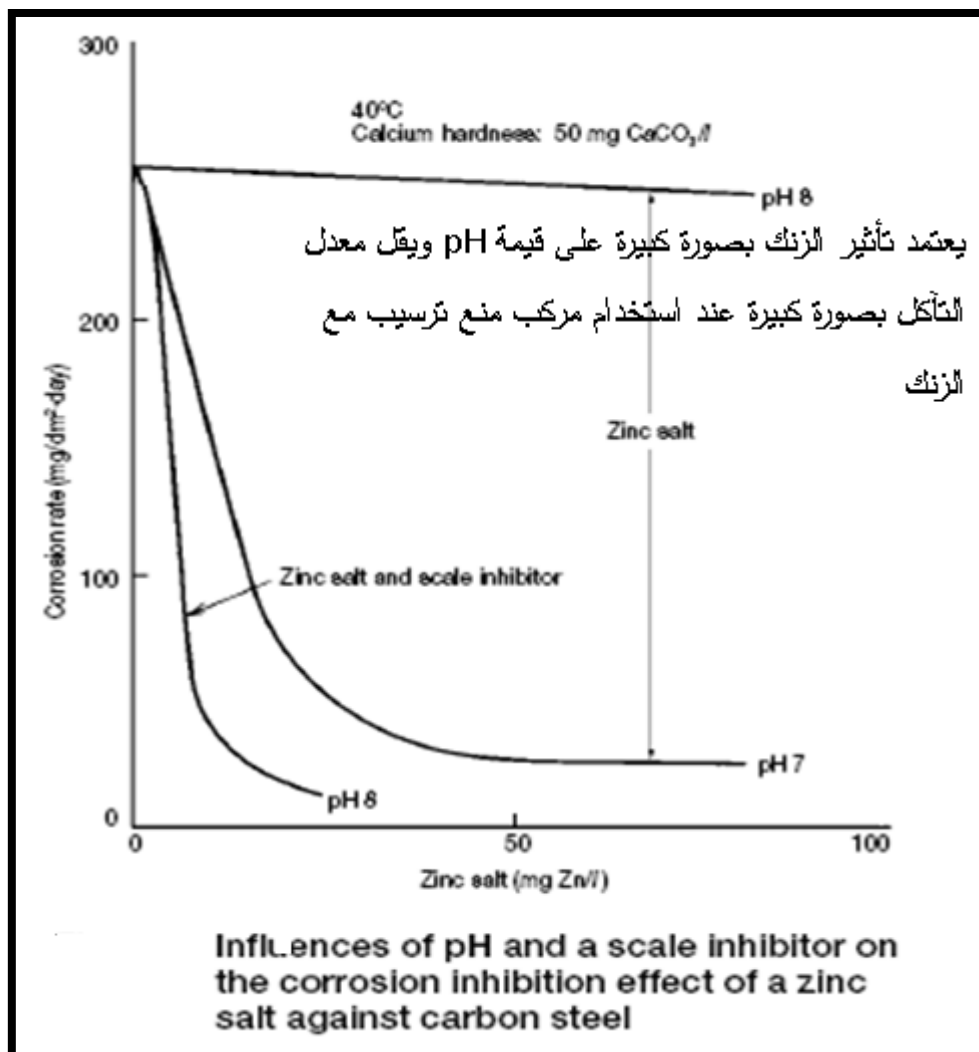
ونضع في الاعتبار خلطات أخرى من موانع تكون القشور الملحية تُضاف جنباً إلى جنب مع موانع التآكل التي تقوم بالوظيفتين مثال لهذه الخلطات: الأكريليك والفوسفونات.

2- نعم ... الزنك لا يعمل بمفرده جيداً!:

بناءً على بعض الكلام السابق ... علمنا أن الزنك يُضاف كمانع تآكل كاثودي ... يأتي المشغل يضيف زنك بكميات في نظره تكون جيدة ومانعة للتآكل ... هذا يأتي من القراءة في مرجع دون النظر للأبحاث والواقع العملي!

نتحدث عن دراسة ومن خلالها سنتكلم عن الأمثلة العملية ... هذه الدراسة تقول أن التركيزات العالية من الزنك غير مطلوبة (فتركيز مثلاً 50 جزء في المليون من الزنك يعطي معدل تآكل 4.0 متر في العام (4.0MPY) بينما يمكن الحصول على نتائج أفضل بكثير (أقل من 1.0 MPY) عند استخدام الزنك مع الفوسفات أو الفوسفونات حيث تقوم هذه المركبات بالتحكم في ترسيب الزنك.

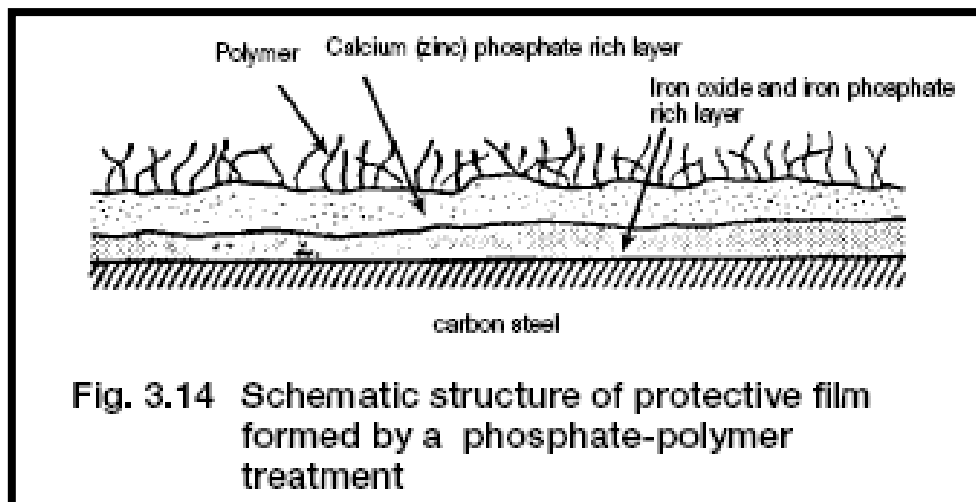
وفي الرسم البياني التالي يظهر أن تأثير الزنك في مقاومة التآكل يكون قوياً مع زيادة الـ pH من 7 إلى 8 ... كما أنه يكون قوياً مع استخدام مضاد الترسيب scale inhibitor:



ولذلك نادراً ما يستخدم الزنك وحده في الحماية من التآكل في دوائر التبريد ولكن عادة ما تستخدم كجزء من برنامج المعالجة مع أملاح الفوسفات أو الفوسفونات في وسط قلوي Alkaline بجانب إضافة بوليمر تعمل ك dispersal حتى لا يتحد الزنك بالفوسفات ويحدث ترسيب. الميزة المهمة في ذلك أيضاً هو أننا نستخدم زنك بتركيز أقل لأنه يسبب سمية للمياه في البيئة مع التفوير.

وهكذا يتم استخدام الفوسفات (الأورثو أو البولي فوسفات العضوى) أو الفوسفونات مع وجود الكالسيوم أو إضافة الزنك:

يتفاعل الفوسفات أولاً مع المعدن (وليكن الحديد) ليكون كما قلنا طبقة حماية أولية من أكسيد الحديد وفوسفات حديد ... ثم يتفاعل مع الكالسيوم في المياه ... ولو كان تركيز الكالسيوم قليل نضيف زيادة من الزنك لتتحول الطبقة العليا من طبقات الحماية إلى خليط من فوسفات الكالسيوم وفوسفات الزنك وتبقى الطبقة السفلى كما هي (أكسيد حديد - فوسفات حديد) ... انظر الصورة التالية:



لو الكالسيوم في المياه عالي فلا داعي لإضافة الزنك وتكون فوسفات الكالسيوم المتكونة كافية لتغطية سطح المعدن (أو البولي فوسفات مع الكالسيوم).

الكالسيوم لو كان قليل نضطر إلى زيادة الزنك (مثلاً من 0.5 جزء في المليون إلى 2-3 جزء في المليون).

الزنك يعمل وحده في pH = 6.5 - 7

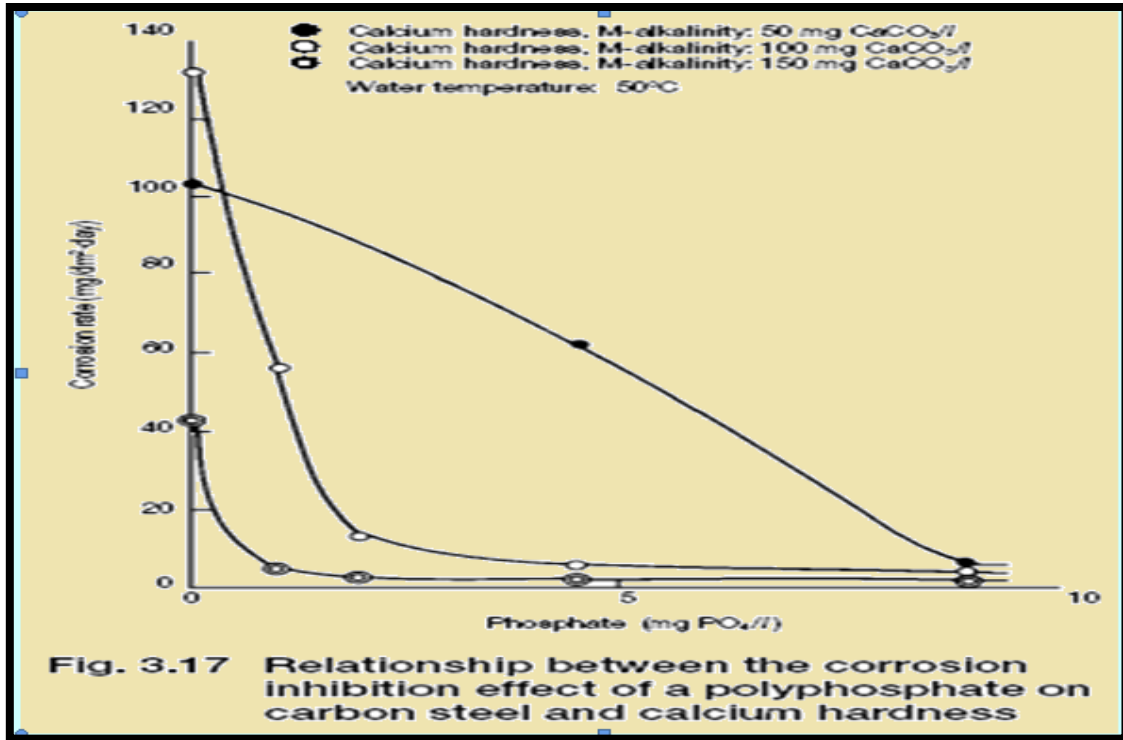
الزنك: جيد جداً ويترسب على هيئة هيدروكسيد أو كربونات أو فوسفات كما قلنا.

الزنك لو زاد عن حد معين يبدأ بعد أن ينتهي دوره في منع التآكل في الاتحاد بالفوسفات ويترسب.

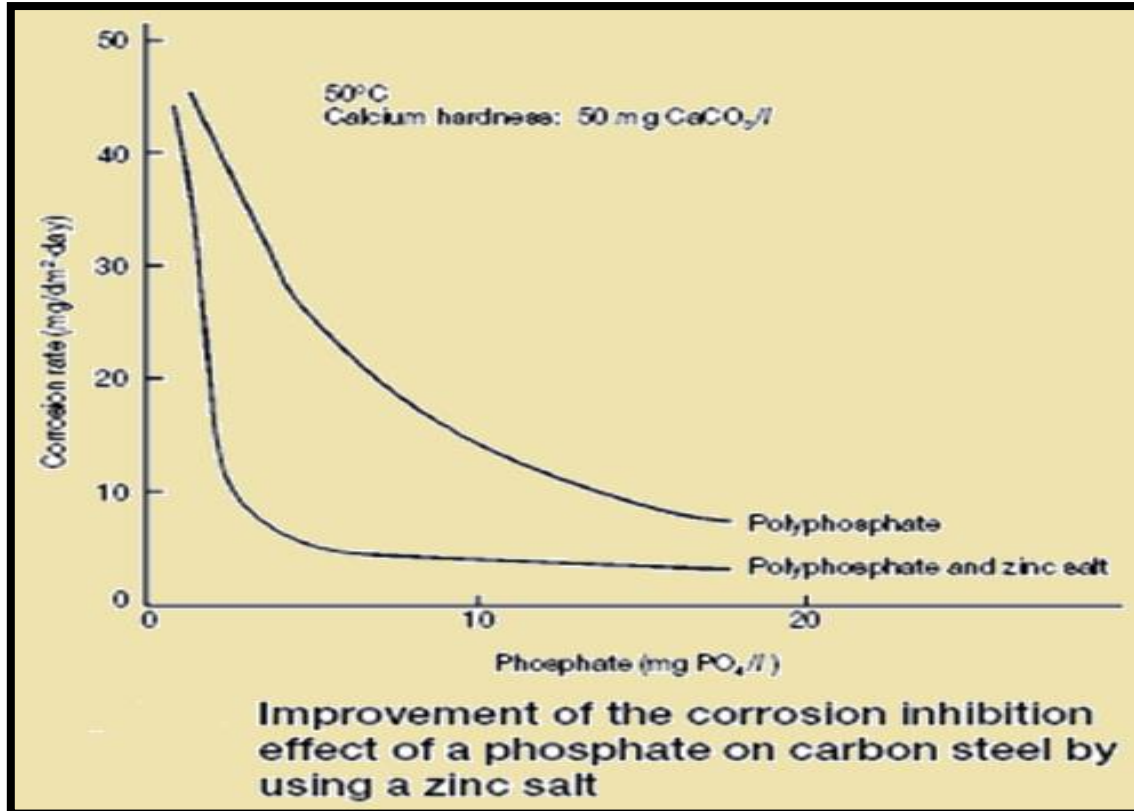
في ضوء ما سبق ... لماذا لا تعتبر مركبات الفوسفات غير كافية وحدها لعمل برنامج منع التآكل في الدوائر المغلقة (الشيلر) سواء استخدمنا مياه يسرة Soft أو Demi؟

الجواب بالتأكيد أن نسبة الكالسيوم قليلة ونحتاج لتعويضها بإضافة الزنك كبديل.

انظر تأثير تركيز الكالسيوم على أداء الفوسفات (كلما زاد زادت كفاءة الفوسفات في منع التآكل) وبالطبع لحد معين من تركيز الكالسيوم:



وهذا تأثير إضافة الزنك إلى مركبات الفوسفات في الدوائر التي تحتوى على نسبة قليلة من الكالسيوم ... يقل معدل التآكل مع إضافة الزنك:

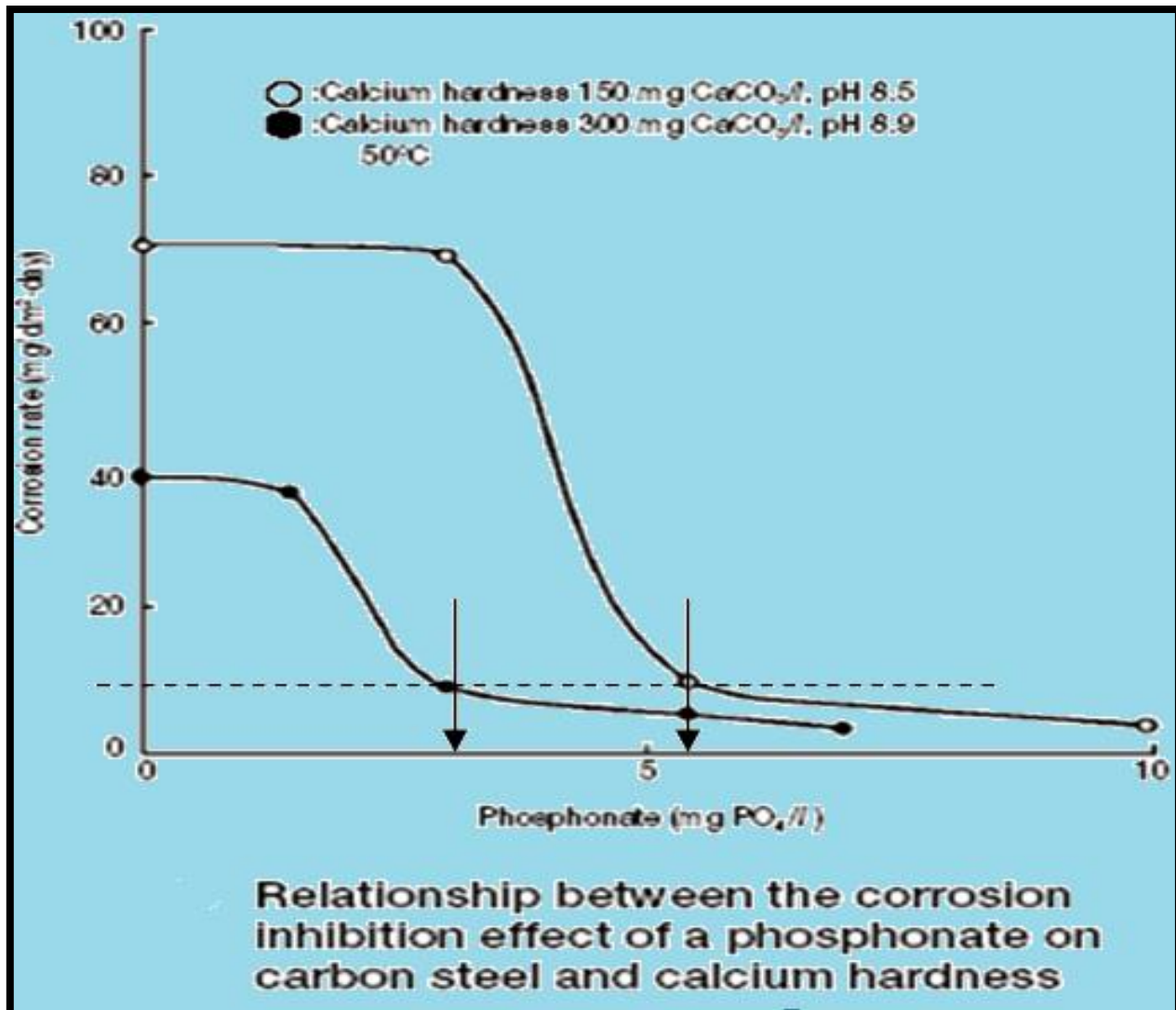


3- الزنك والبيئة!:

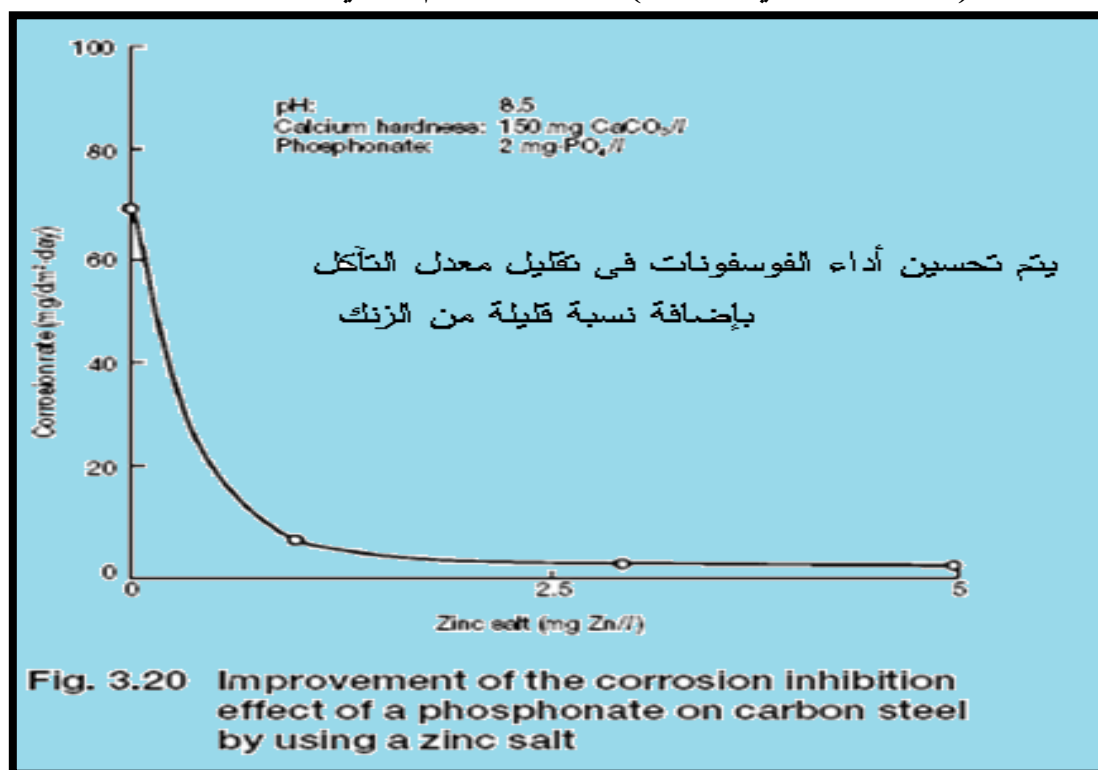
اضافة الزنك لابد ان يكون بمواصفات البيئة ... لو خارج على محطة صرف مثلاً فلا يجب أن يزيد عن 1 جزء في المليون حد أقصى.

4- حوار حول الفوسفونات!:

إذا سألت عن ما يعشقه برج التبريد فتكون الإجابة هي: الفوسفونات! بالنسبة للفوسفونات Phosphonates فإنها تستخدم بصورة واسعة كمانع للتآكل Corrosion Inhibitor في دوائر التبريد المفتوحة (مثلها مثل الفوسفات) وعموماً فإنها تعطي حماية كافية ضد التآكل للحديد Carbon Steel في المياه التي تحتوى على أيونات الكالسيوم أيضاً ... وكلما زاد تركيز الكالسيوم في مياه التبريد قل التركيز المطلوب من الفوسفونات. فمثلاً يقل تركيز الفوسفونات المطلوب مع إعطاء نتائج جيدة من 6 إلى 3 جزء في المليون عند زيادة الكالسيوم من 150 إلى 300 جزء في المليون ... انظر الرسم البياني التالي:



كما نكرر يمكن تحسين أداء الفوسفونات بإضافة أملاح الزنك (تماماً مثل الفوسفات) كما يلاحظ من الشكل التالي حيث يقل تركيز الفوسفونات المطلوب للحصول على نفس تأثير الحماية من التآكل بإضافة تركيز قليل من الزنك (1 – 2 جزء في المليون) ... انظر الرسم التالي:



وعادة ما تستخدم الفوسفونات في دوائر التبريد المفتوحة التي تحتوى على تركيز عالى من عسر الكالسيوم الأعلى من 150 جزء في المليون وتعمل عند دورات تركيز عالية أكبر من 3.5 ... حيث أنها مركبات أكثر ثباتاً من مركبات الفوسفات (تتحلل بصورة أقل من الفوسفات). تستخدم الفوسفونات أيضاً كمانع للترسيب Scale Inhibitor حيث أن لها تأثير ممتاز في منع ترسيب كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ كما سيأتي بعد ذلك.

وهكذا للحصول على نتائج جيدة لمعدلات التآكل باستخدام مركبات الفوسفات أو الفوسفونات يجب زيادة الجرعة المضافة من الكيماويات Corrosion Inhibitor كلما قلت قيمة Ca-Hardness في المياه ... انظر الجدول التالي:

تركيز الفوسفات المطلوب PO_4^{--} (ppm)	قيمة Ca-Hardness (ppm)
10.0	50
5.0	100
2.0	150

الفوسفونات أنتيسكيل يستخدم مع الموليبيدات مثلاً في برنامج و بتركيز 1 – 2 جزء في المليون للفوسفونات و 5 – 20 للموليبيدات (متوسط) ... في الحقيقة هي خلطة فوق الممتازة!

5- التآكل في الاستانلس ستيل بوجه عام!:

يوجد نوعان أساسيان من الاستانلس ستيل:

1- الاستانلس ستيل 304: مطعم بالنيكل والكروم ويستخدم على نطاق واسع في التطبيقات. وقوة مقاومة الاستانلس جاءت من تكون طبقة أوكسيد الكروم Chromium oxide أثناء عملية التصنيع كنوع من الـ passivation layer ... وللحفاظ على هذه الطبقة على الدوام لابد من أن يكون السطح نظيفاً مع وجود نسبة جيدة من الأوكسجين للحفاظ على طبقة أوكسيد الكروم ... والتظيف يبدأ بالمنظفات المنزلية لازالة الوسخ والرواسب وبعيداً عن استخدام الكلور والسلفايد ... وقد نستخدم المنظفات الخاصة التي تحتوي على الكروم وغيرها كما جاء في توصيات شركة إيفابكو ... مع التحذير ألا نقوم بالتنظيف إذا كان هناك أجزاء من الحديد المجلفن بالوحدة.

1- الاستانلس ستيل 316: وله مقاومة أكبر ضد التآكل نتيجة لإضافة الموليبيديوم إليه بجانب نسبة النيكل العالية به .. يستخدم مع نسب الكلورايد العالية والحماية من الـ pitting وال crevice corrosion ويستخدم في الصناعات الثقيلة وفي البيئة البحرية.

6- مقاومة التآكل بالتخلص من الأوكسجين!:

التخلص من الأوكسجين في مياه أبراج التبريد قلنا عنه أنه مستحيل! ... أما في دوائر التبريد المغلقة closed loop قد يتم إضافة بعض المواد الكيميائية التي عن طريقها نتخلص من الأوكسجين الذي يسبب تآكل المعادن ... أهم هذه المواد هي كبريتيت الصوديوم sodium sulfite ... ونظرياً 8 جزيئات منها نحتاجها لإزالة جزيء من الأوكسجين وأحياناً يتم استخدام تقنية vacuum de-aeration هذا بجانب نيتريت الصوديوم كما أوضحنا من قبل.

7- كلام من هنا وهناك:

- اختيارتركيز البوليمر مهم جداً لأنه يعمل كمشتت Dispersal يمنع الزنك من الترسيب مع الفوسفات.
- في المعتاد يتم الحقن في طرد ظلمبة الطرد بعد برج التبريد.
- المعالجة الكيميائية لا تكون فعالة في حالة حدوث تصدعات في المعدن:

Crevice = crack = fissure

وهذه الأماكن تسمى بال hot spots وأسبابها وجود dirt كحوض البرج (tower sump) أو ال tube sheet أو scales أو الأماكن التي تعرضت للحام سىء... إلخ.

ويُعطي لنا الدكتور أحمد أنور أحمد باقة من موانع التآكل والظروف التي تعمل فيها:

Moly/Phosphonate

- ▶ For corrosive, low hardness &/or alkalinity water.
- ▶ Molybdate-based corrosion inhibitor phosphonate for scale inhibition
- ▶ Good at high skin temperatures.
- ▶ Molybdate : 6–16 ppm (as MoO_4)
- ▶ Phosphonate : 1–2 ppm (as PO_4)
- ▶ Calcium : 0–500 ppm
- ▶ M-Alkalinity : 50 –2,000 ppm
- ▶ Temperature : 57– 82°C
- ▶ Conductivity : 2,000 uS/cm

Alkaline /Zinc

- ▶ low level of zinc with ortho phosphate for corrosion control
- ▶ Polymeric dispersant used for scale control at high pH
- ▶ Zinc provides cathodic corrosion protection
- ▶ Ortho phosphate provides anodic corrosion protection
- ▶ Operate at higher pH to provide excellent corrosion
- ▶ Zinc : 0.5–2.0 ppm
- ▶ Ortho PO_4 : Extremely variable
- ▶ Calcium : 15–1,000 ppm
- ▶ M-Alkalinity : 50 –1,500 ppm
- ▶ Temperature : 71°C max.
- ▶ Conductivity : 6,000 micromhos max.

▶ Stabilized Phosphate

- ▶ High levels of ortho PO_4 to provide corrosion protection.
- ▶ Polymeric dispersant provides calcium phosphate stabilization.
- ▶ Operates at near-neutral pH.
- ▶ Low make-up calcium &/or M-alkalinity

▶ O- PO_4	: 8 –17 ppm (Ca dependent)
▶ Calcium	: 15 –1,000 ppm
▶ pH	: 6.8–8.4 (Ca dependent)
▶ Temperature	: 66°C max.
▶ Conductivity	: 7,500 micromhos max.

▶ All Organic

- ▶ Non-heavy metal /phosphate program
- ▶ High pH & alkalinity conditions to provide corrosion protection in a scale forming cooling system environment.
- ▶ Organic scale inhibitors prevent mineral deposits.

▶ Calcium	: 80–900 ppm
▶ M-Alkalinity	: 300–500 ppm
▶ pH	: 8.5–9.4
▶ Temperature	: 43–60°C
▶ Conductivity	: 4,500 microS

ويبقى الآن أن نذكر العوامل المؤثرة على أداء وفاعلية كيماويات منع التآكل:

- 1- قيمة الأس الهيدروجيني pH.
- 2- تركيز العناصر التي تسبب التآكل.
- 3- درجة الحرارة المياه.
- 4- معدل (سرعة) سريان المياه.

- عسر الكالسيوم Ca-hardness وقد ذكرنا تأثيره من قبل - تركيز الكلور الحر.

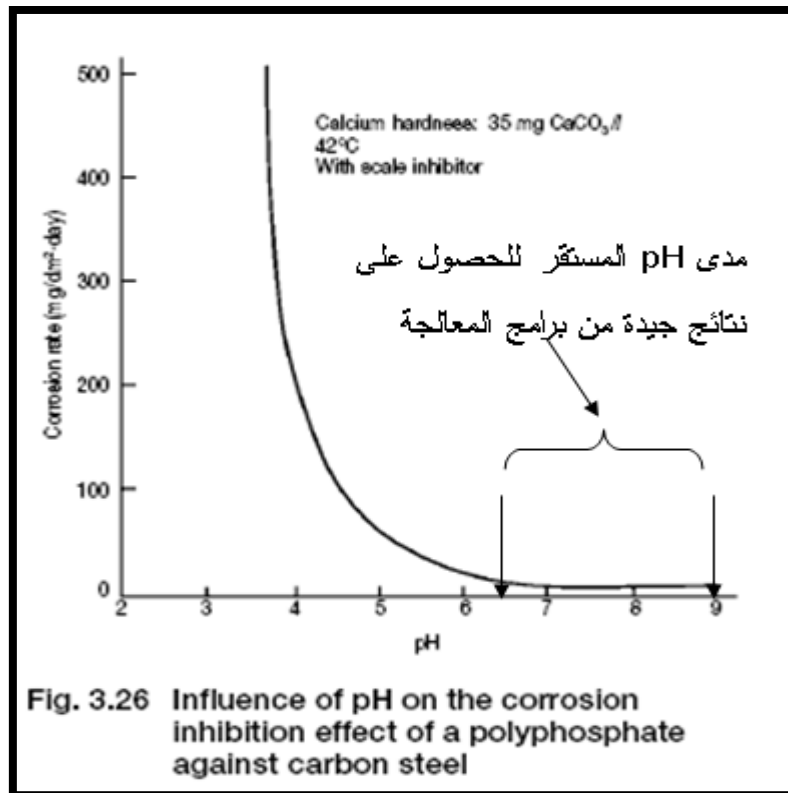
1- قيمة الأس الهيدروجيني pH:

ال pH تحت ال 6.8 - 7.0 تسبب تآكل عالي (قد يصل بال mild steel إلى 25mils/years ... والنحاس إلى أكثر من 1 mpy)!

نقول أن هناك مدى مناسب من ال pH لعمل مضاد التآكل ... ولكن ينبغي النظر إلى أن حدوث مشاكل أخرى في جزء من هذا المدى!

بمعنى ... لو استخدمنا مثلاً مضاد للتآكل وهو مركب البولي فوسفات على الحديد carbon steel ... نجد أن أفضل نتائج هي بين pH من 6.5 إلى 9 ... لكن يجب الانتباه أن القيمة الأعلى من 8 تتطلب إضافة مانع ترسيب scale inhibitor لزيادة فرصة أملاح الكالسيوم سواء أكانت كربونات الكالسيوم أو فوسفات الكالسيوم.

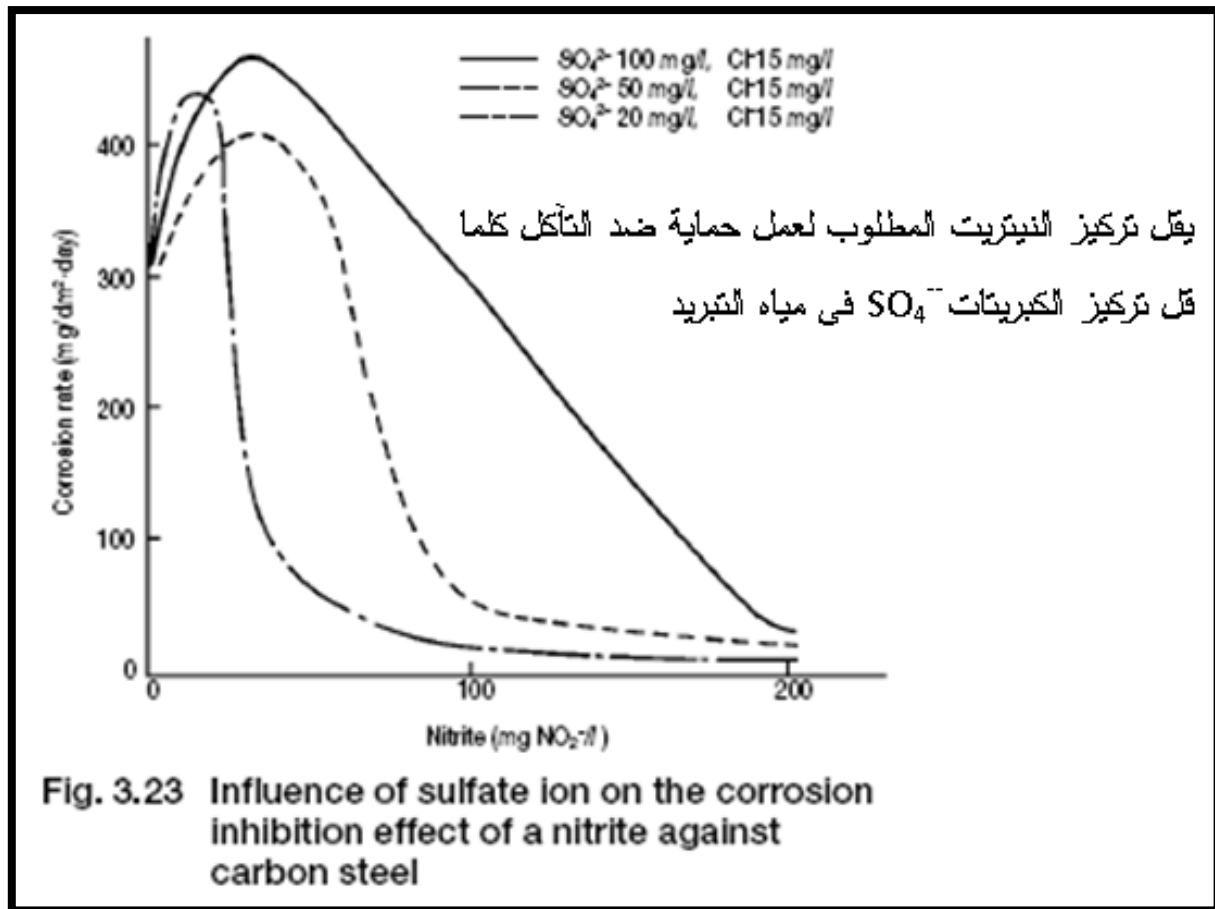
انظر الرسم التالي:



2- تركيز العناصر التي تسبب التآكل:

هي أيونات عدوانية Aggressive Ions تقوم بمهاجمة وتفتيت الطبقة الحامية الموجودة على سطح المعدن Protective Film التي تم تكوينها بواسطة مركبات مانع التآكل وتؤدي إلى إتلاف دورها ... أهمها الكلورايد Cl^- والكبريتات SO_4^{--} .

وفي دراسة أوضح الرسم البياني التالي أن النيتريت الذي يعمل كمانع تآكل في دوائر الشيللر المغلقة يقل تركيزه المطلوب كلما قل تركيز الكبريتات في مياه التبريد (مع ثبات تركيز الكلورايد) ...



أيضاً عند استخدام برامج يدخل فيها مركبات الزنك مع الفوسفات أو الفوسفونات يقل تأثير كل من SO_4^{2-} و Cl^- على معدل التآكل.

أيضاً زيادة الكلور الحر المتبقي Free chlorine في مياه برج التبريد قد يضر بعض مضادات التآكل مثل ال TTA (Tolytraiazole) والذي يصبح غير مستقر مع التركيزات العالية من المواد المؤكسدة. وقد وُجد أن ما يُحفز ال passivation للمعادن أيضاً وجود تركيز كربونات الكالسيوم بنسبة 100 – 300 جزء في المليون والقلوية 100 - 300 (as $CaCO_3$) جزء في المليون.

3- درجة حرارة المياه :Water Temperature

الدراسات أثبتت أن هناك علاقة بين تأثير منع التآكل لمركبات البولي فوسفات والزنك Polyphosphate - Zinc مع درجة الحرارة على الحديد الكربوني Carbon Steel.

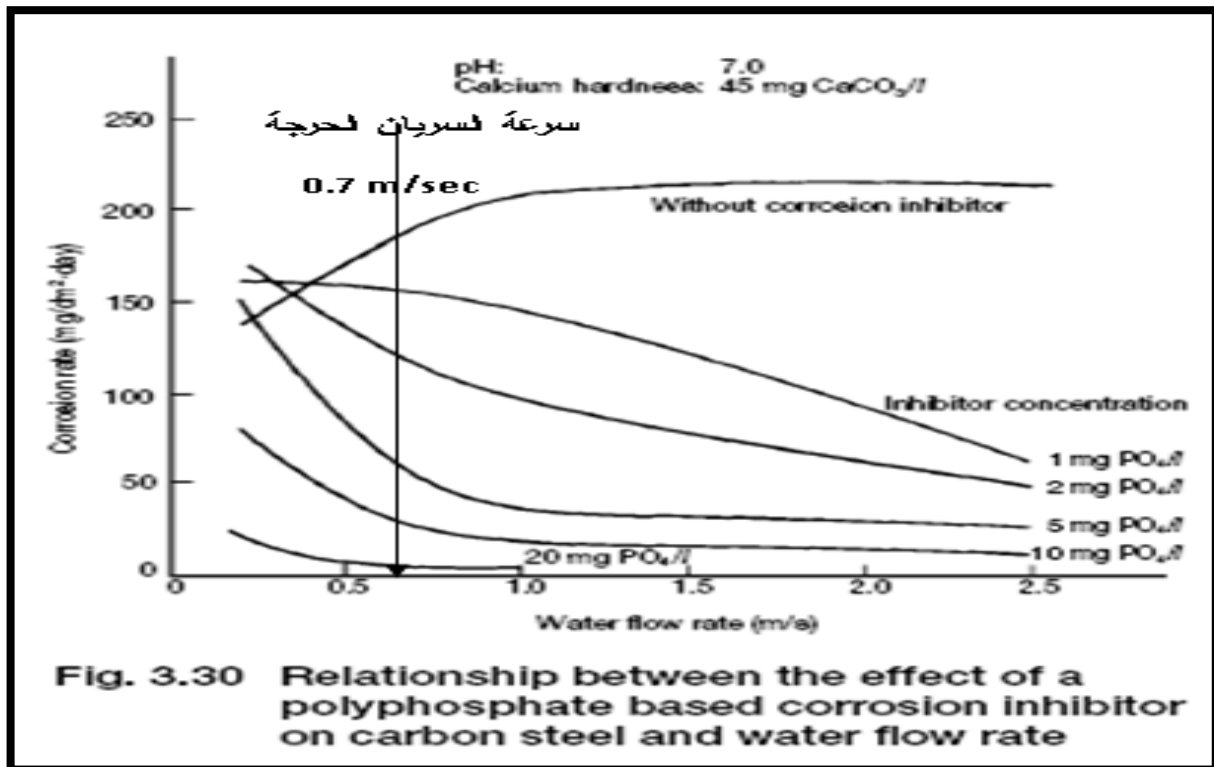
في حالة عدم استخدام أى برامج معالجة ضد التآكل تكون العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل التآكل طردية في المدى من 25 – 50 °م ثم يقل تأثير درجة الحرارة في المدى من 50 – 80 °م.

عند استخدام برامج معالجة من البولي فوسفات والزنك Polyphosphate - Zinc يحدث العكس حيث يتم الحصول على معدل تآكل مستقر في مدى درجات الحرارة من 30 – 80 °م ... ويجب استخدام

مانع ترسيب Scale Inhibitor للتحكم في ترسيب مركبات كل من الزنك والكالسيوم عند درجات الحرارة العالية.

4- معدل وسرعة سريان المياه:

معدل التآكل يزداد بزيادة سرعة المياه Water Flow Rate حيث يزداد تشتيت وتوزيع الأكسجين الذائب في المياه على سطح المعدن وبالتالي يزداد تفاعل التآكل. في حالة تطبيق برنامج معالجة لمنع التآكل فإن التأثير يكون عكسياً! حيث أن سرعة المياه تؤدي إلى جودة توزيع وتشتيت مركبات الحماية من التآكل ووصولها إلى جميع الأسطح وتجدها وبالتالي يقل معدل التآكل كلما زادت سرعة المياه (وذلك حسب تركيز Corrosion Inhibitor المستخدم في البرنامج) ... نلاحظ بالرسم البياني أنه كلما زادت سرعة المياه (المحور الأفقي) يقل معدل التآكل (وكلما زادت تركيز الفوسفات قلت سرعة التآكل أيضاً).



النقاش القادم عن مقاومة تكون القشور الملحية Scales.

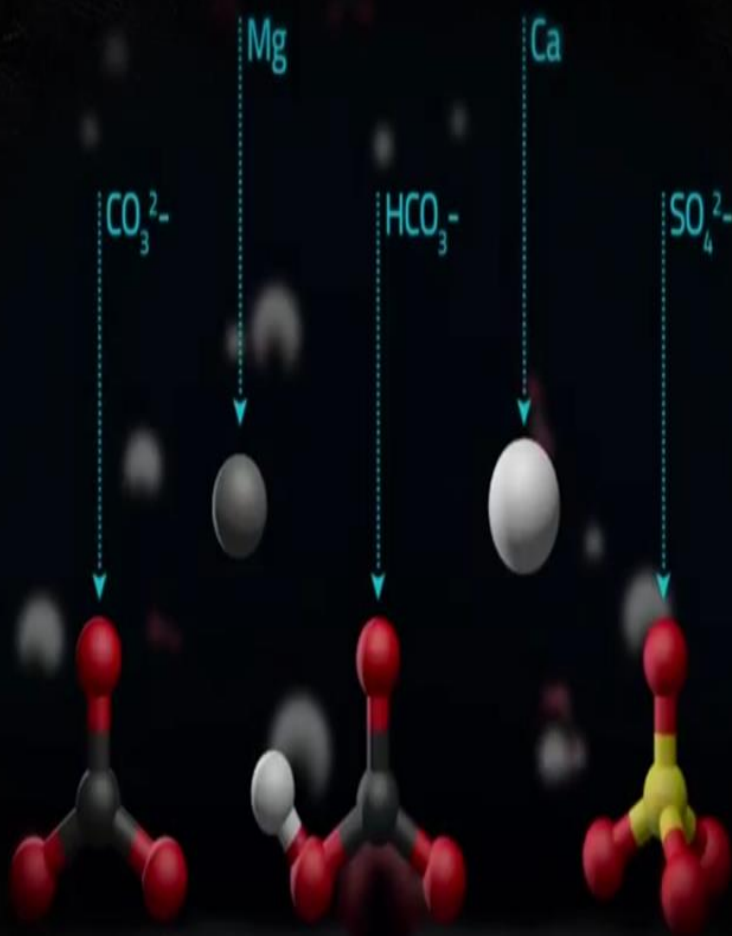


WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

23

مقاومة تكون
القشور
الملحية!!



النقاش الثالث والعشرون:-**23- مقاومة تكون قشور الأملاح**

يُمكننا مقاومة تكون القشور Scales بالتحكم في العوامل التي تؤدي إليها ...
خطتنا في هذه المناقشة ستنحصر في:

- 1- تذكير بالعوامل المؤثرة في تكون القشور الملحية (scales).
- 2- كيف أُنَمَّع تكون القشور وأُستطِيع أن أُنَظِّم فيها؟؟
- 3- وظيفة موانع الترسيب antiscales في دوائر التبريد.
- 4- أمثلة لموانع الترسيب (الأنتيسكيل) وسنتطرق في الحديث عن كل نوع ورأى المراجع العلمية ورأى الخبراء بناءً على الخبرة العملية .. وتتضمن هذه الأنواع:
أ- موانع تكون الأنوية.
ب- المشتتات.
- 5- أمور هامة حول مقاومة قشور الأملاح.

1- تذكير بالعوامل المؤثرة في تكون القشور الملحية (scales):

نذكر حضراتكم بالعوامل التي تؤثر على تكون القشور الملحية كما في الجدول التالي – وقد تكلمنا عنها من قبل – :

Factors		Scale formation
Concentration of dissolved salts	↑	↑
Water temperature	↑	↑
pH	↑	↑
Suspended solids	↑	↑
Retention time	↑	↑
Skim temperature of heat exchange	↑	↑
Flow rate	↑	↓

بعض العوامل أستطيع التحكم فيها وبعضها لا أستطيع ... فمثلاً درجة الحرارة لا أستطيع التحكم فيها ... كما أن معدل السريان له مدى مسموح به في دائرة المصنع ... من الممكن أن نُزِيدَهُ لكن لا أستطيع أن أُنَظِّمَ الحد الأقصى له وفائدته بالطبع عمل كسح أقوى للأملاح sweeping ... فهي مقاومة ميكانيكية تؤثر بالسلب على تكوين القشور ... أحببنا البدء بهذه البداية قبل الدخول في التفاصيل.

2- كيف أ منع تكون القشور وأستطيع أن أتحكم فيها؟؟

هدفنا الأكبر هو منع اتحاد الكالسيوم بمسببات القلوية!

1- التحكم في تركيز الأملاح الذائبة في الدائرة ... معناها أن لا أتعدى دورة التركيز COC أو نسبة التركيز Concentration ratio بحيث لا تصل الأملاح لدرجة التشبع في الماء فتترسب ... ويجب الحفاظ عليه وهو يساوي تركيز الأملاح الذائبة في مياه التفوير Blow-down (وهو يُمثل التركيز في مياه الدائرة) إلى نسبة الأملاح الذائبة في مياه التعويض Make up ... وقد شرحنا ذلك من قبل.

2- إضافة حامض مع مياه التغذية لمنع ترسب كربونات الكالسيوم مثلاً (مع الاعتدال في إضافة الحمض لأن خطر التآكل عند نقطة سيصبح قائماً) ... بمعنى أن الـ pH يكون ضمن المدى الآمن (Scale safe zone) وقد شرحنا ذلك من قبل.

3- إضافة مواد مانعة للترسيب أو مضادات القشور (أنتي سكيل antiscalar أو نسميه مانع التكلس Scale inhibitor) ولو كان مخصص لرواسب الكالسيوم من الممكن أن نطلق عليه Anti-calcination ... وسنتكلم الآن عن موانع الترسب بالتفصيل ... نتعرف على آلية عمله ... ونتعرف على أمثلة تستخدم في دوائر التبريد ... إلخ

3- وظيفة موانع الترسب antiscalar في دوائر التبريد:

حتى أ منع ترسيب الأملاح يجب أن أعرف كيف يحدث الترسب أولاً ... يحدث الترسب عندما تتكون بلورة من أحد الأملاح وتعتبر نواة nucleus لترسيب بلورات أخرى عليها وبالتالي تتكون طبقات القشور الملحية شيئاً فشيئاً ... ولكي أ منع ذلك أقوم بعمل فعل من فعلين ... أحارب تكون هذه النواة من الأصل ... أو أ منع ترسب الأملاح عليها ... هذا ببساطة شديدة.

فلو زاد تركيز ملح من الأملاح إلى مرحلة التشبع (مع زيادة دورات التركيز) زادت خطورة ترسبه ... فيأتي المنقذ الأنتي سكيل ليطمأنك أن الملح لن يترسب حتى لو وصل حد التشبع لأكثر من 100%! وبهذا يتم تقسيم الأنتي سكيل إلى نوعين أساسيين وهما:

1- مانع تكون النواة Nucleation inhibitor: يعمل على منع نمو وتكون النواة من البداية ولذلك تسمى معالجة أولية threshold inhibition ... فيقلل من حجمها أو يمنع تصلبها ... يعني يقلل استقرارها وثباتها ... ولذلك يُسمى بالـ anti-nucleating agent ... تجعل الملح أكثر ذوبانية.

2- مانع تكون بلورات الأملاح على النواة Dispersants: ومن اسمه نستنتج أنه يقوم بعمل تشتيت dispersion لبلورات الأملاح فتختلط بها وتسبب تشوها distortion فلا تستقر على الأنوية وتحافظ على ذوبانيتها في الماء أو تقلل معدل ترسبها ... وتسمى أحياناً بالمشتتات Dispersants ... ويتم تحويل الأملاح إلى ما يُشبه الـ sludge فيسهل انتقاله مع الماء بدلاً من تكوين رواسب ملحية صلبة ... ولذلك يُطلق على الأنتي سكيل من هذا النوع الـ scale

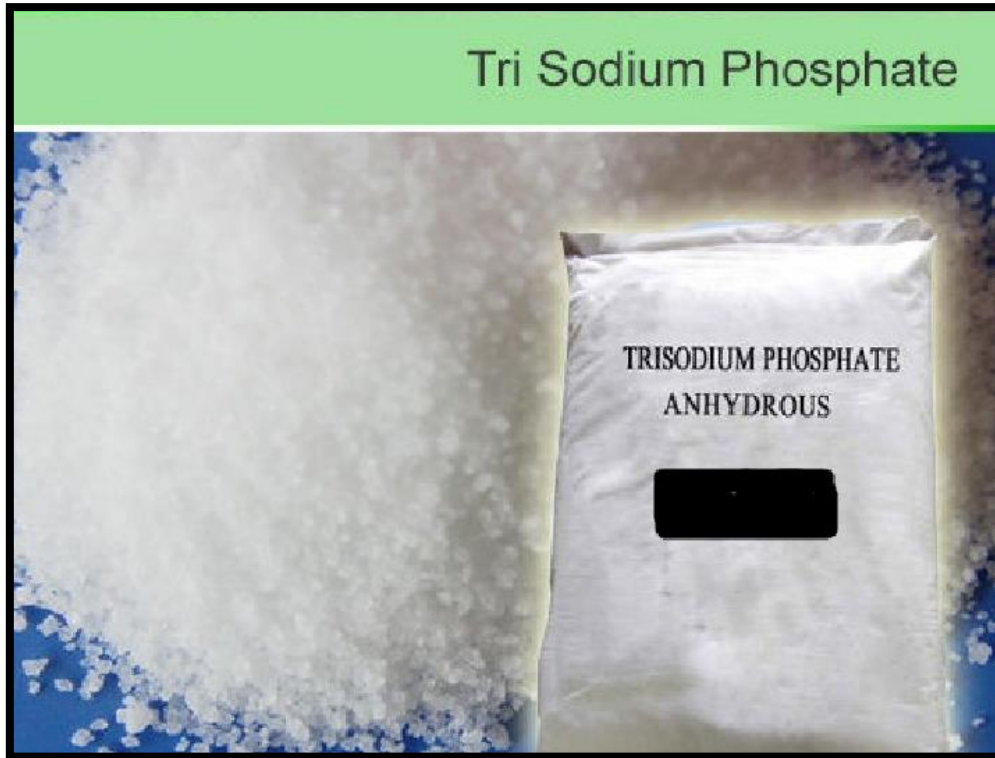
conditioner أو conditioning agents ... هي في الحقيقة تتداخل مع الأنوية كالمتمطفل وتعوق ترسب الأملاح عليها وتتكون في المعتاد من بوليمرات عضوية. ومن الممكن إضافة النوعين معاً (أنتي سكيل ومشتت). أيضاً بعض الأنواع من الأنتيسكيل تقوم بتعديل الهيكل البلوري للرواسب وتثبتته أو تحافظ عليه فلا يثبت كراسب ... وقد تقوم بعض الأنواع بأكثر من ميكانيزم لمقاومة تكون القشور.

4- أمثلة لموانع الترسيب (الأنتيسكيل):

قاعدة مهمة نبدأ بها لأنك قد تتفاجيء ببعض المواد ذكرناها في مقاومة التآكل!:"تستخدم بعض الأنواع من الأنتيسكيل كمانع للتآكل فهو يمنع الترسبات الملحية ويمنع التآكل في نفس الوقت".

ستجد في الصور التالية بعضاً من منتجات الأنتي سكيل (موانع الترسيب) لشركات مختلفة تحمل أسماء تجارية ... وليسمح لنا هؤلاء بالخوض في هذا الحديث والتحدث بشيء من التفاصيل عن أهم الأنواع مع ذكر بعض الملاحظات التي تفيد المهتمين بالمعالجة:





وإليك الآن أشهر الأمثلة عن موانع الترسيب (الأنتيسكيل) وتتضمن:
أ- موانع تكون الأنوية.
ب- المشتتات.

أ- موانع تكون الأنوية Threshold inhibitors:

أشهرها عائلة الفوسفات PO_4 ! وهي تتحد بالكالسيوم والمغنيسيوم وتمنع تكون القشور والتي يتفرع منها عدة أنواع:

- الفوسفات الغير عضوي مثل التراي صوديوم فوسفات ... وصاحبه الصوديوم هيكساميتا فوسفات حيث تراه بالإختصار التالي SHMP ...

- البولي فوسفات P_2O_5 يستخدم أيضاً كأنتي سكيل ناجح.
- الفوسفات العضوي (الفوسفونات) والبولي فوسفونات ومشتقاتها.

تعقيب المهندس أيمن عوني عيد:

Phosphonates mainly scale inhibitors (الفوسفونات أساساً موانع القشور)
Slightly corrosion inhibitors so according to phosphonates type we select it concerning its behavior.

(تستخدم كممانع للصدأ قليلاً تبعاً لنوع الفوسفونات والتي نختارها والتي تتحكم في سلوكها).

- مشتقات حمض الفوسفوريك الغير عضوية والعضوية (مثل الأمينو إيثيلين فوسفوريك أسيد أو الهيدروكسي إيثيلين داي فوسفوريك أسيد).
- (لاحظ أن الفوسفات له وظيفتين ... مانع ترسيب ومانع تآكل كما ذكرنا).

ب- المشتتات (Dispersants):

دائماً تتألف من بوليمرات عضوية تتحد مع المواد العالقة وتمنعها من تكوين الكريستالات ... وأشهرها نوعين:

- البولي أكريلات ويتم اختصاره بالاختصار PAA وهو أقوى من الفوسفات الغير عضوي ... وله مشتقات مثل Poly-methacrylate (ويُعتبر أيضاً Threshold inhibitor ولكنه مشتت من الدرجة الأولى).

- عائلة الأحماض الكربوكسيلية ومشتقاتها (مثل ال Phosphino carboxylic acid).

ومثل Polyacrylate & Polymethacrylate-6

وهناك مركبات أخرى أقل شهرة مثل البولي ماليك (Poly-Maleic acid (PMA وإن كان مفعوله قوياً ولكن يعيبه سعره العالي ... وهناك الإديتا EDTA والتي تقوم بعمل "كالبشة قوية" بمخالبها التي تشبه مخالب العقرب Chelating لأيونات الكالسيوم والماغنيسيوم وتكون متراكب complex معها وتمنع ترسبها حتى مع درجات الحرارة العالية ... ومجموعة السلفونات $R-SO_3^-$ (مثل ال lignosulfonates والarylsulfonates) ... وهناك اللجنين Lignin والتانين Tannin.

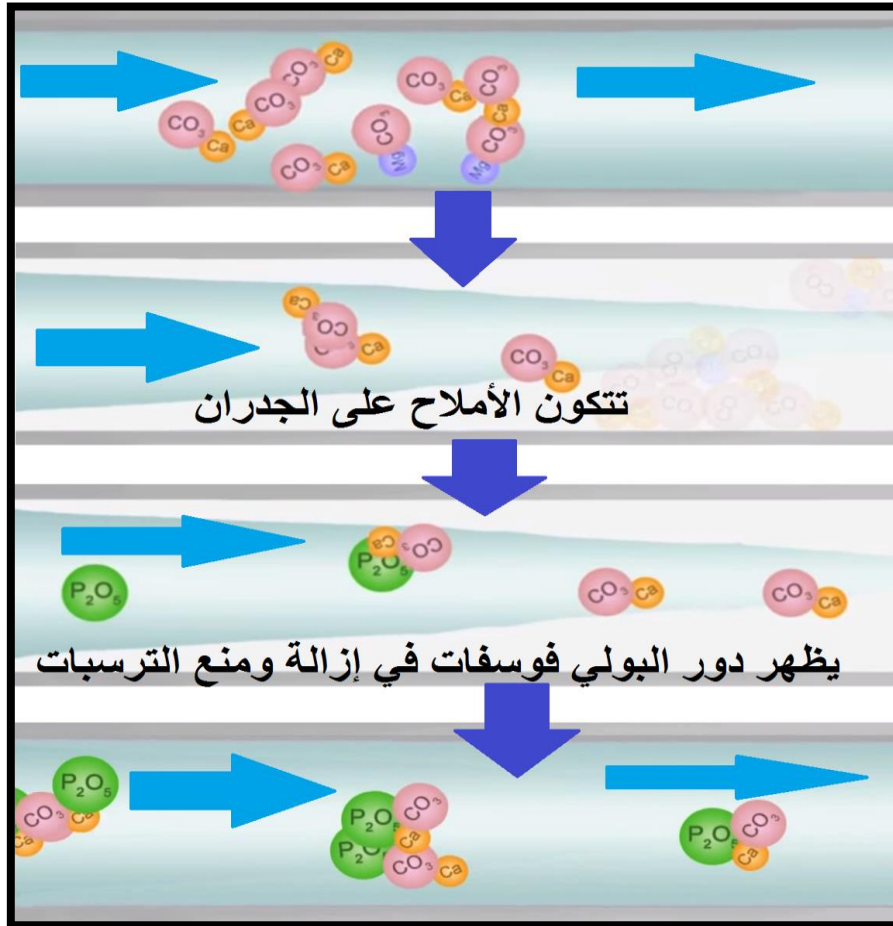
التانين ومشتقات اللجنين lignin تغطي كريستالات ال scale وتجعلها لا تلتصق بسهولة بسطح المبادل الحراري!

5- أمور هامة ومناقشات حول مقاومة قشور الأملاح:

1- الفوسفات الغير عضوي:

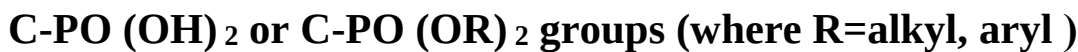
الفوسفات يرسب الكالسيوم على هيئة رواسب الهيدروكسي أباتيت Hdroxyapatite ورمزه الكيميائي $Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$ وهي ترسبات لا تلتصق بالسطح وتزال بالكسح بسهولة من خلال التفوير ... ويجب الالتزام بـ pH مرتفعة لأنه مع ال pH المنخفضة يسبب ترسب مع الكالسيوم في قشور صلبة.

- 2- البولي فوسفات جيد لقشور الكالسيوم ولكن يجب الاحتراس عند استخدامه فله خطورته في تكون قشور فوسفات الكالسيوم **Calcium phosphate**.
- 3- ما يلي صورة توضيحية لعمل البولي فوسفات في منع تكون قشور كربونات الكالسيوم:



-2

- 4- الفوسفونات **Phosphonates** والبولي فوسفونات **Poly-Phosphonates** هي مركبات عضوية مرتبطة بالفوسفات **organo-phosphorous compounds** و أكثر ثباتاً من الفوسفات الغير عضوي ولها رمز كيميائي عام كالتالي:



هذه الفوسفونات مثلاً تعمل على إبقاء كربونات الكالسيوم في صورة ذائبة على هيئة فوسفات الكالسيوم الأكثر ذوباناً بدلاً من الترسب.



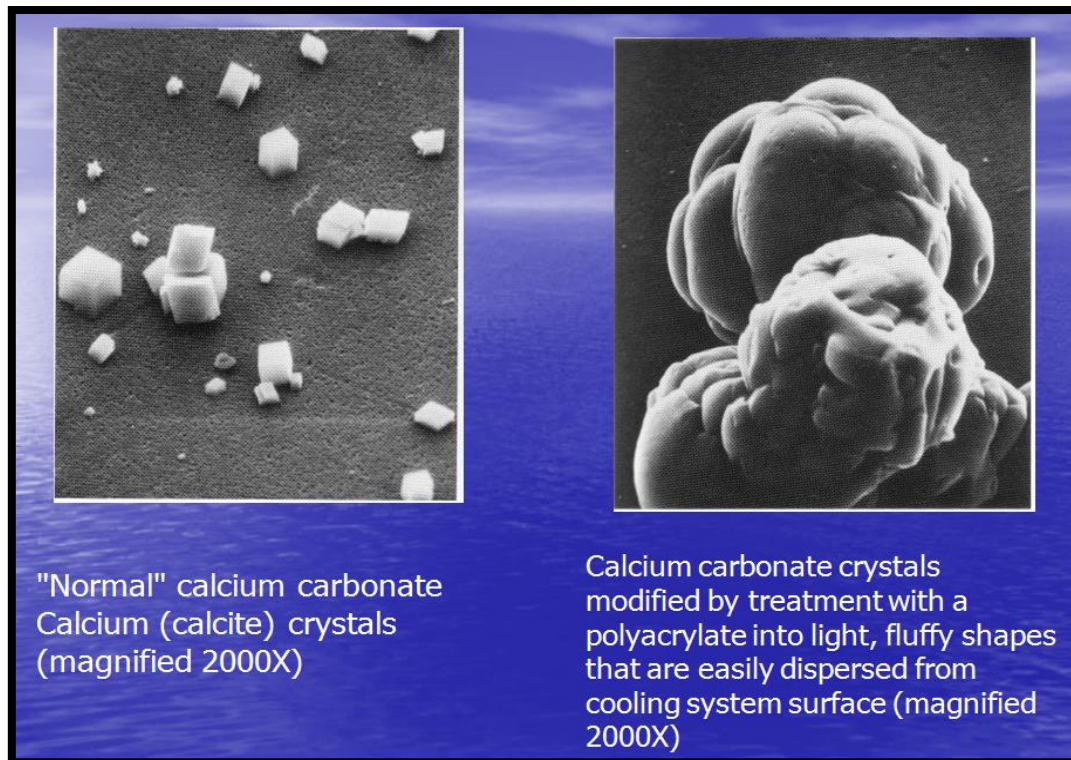
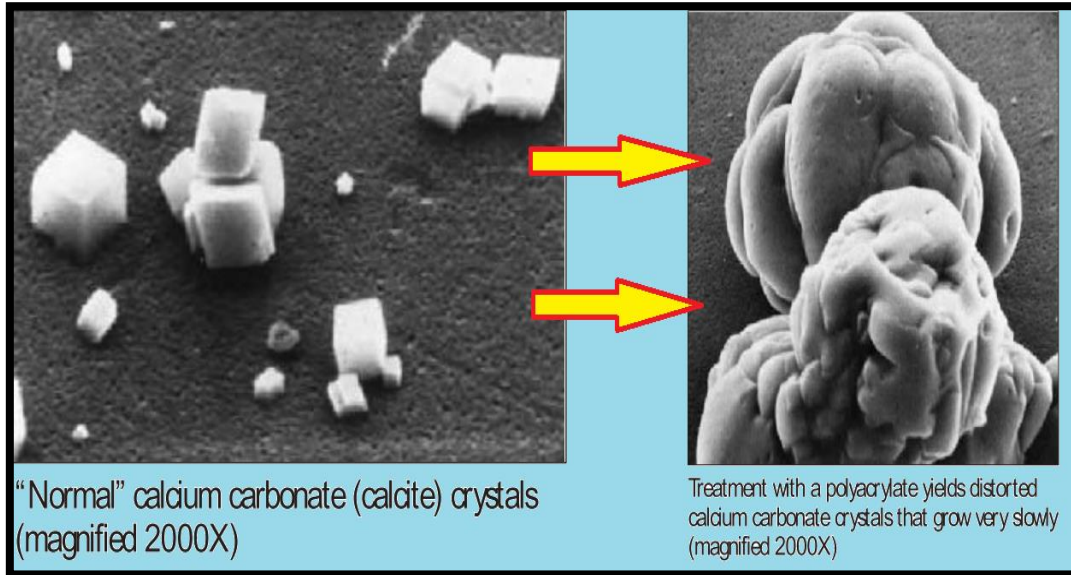
الفوسفونات أيضاً كالفوسفات تلعب دوراً ثنائياً في التحكم في التآكل بجانب منعها لترسب الأملاح. مركب مشهور وهو **HEDP** كما يظهر في أحد الصور السابقة وهو اختصار ل:

1-Hydroxy Ethylidene-1, 1-Diphosphonic Acid -3

المهندس أيمن عوني عيد:

الفوسفونات **HEDP** من المواد التي تمنع التكلسات وكذلك تقلل التآكل.

5- مركبات البولي أكريلات البوليمرية مثل: Sodium Polyacrylate, Polymethacrylate معلومة في منع ترسبات كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم وغيرها مثلها مثل "البولي ماليك". انظر صورة كربونات الكالسيوم (الكالسيت) الطبيعية (على اليسار) وقد تم تكبيرها 2000 مرة وقد حدث لها تشوه بعد تدخل البولي أكريلات (على اليمين):



6- الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic acids:

أشهرها مركب ال PBTC كما ترى في أحد الصور السابقة في أول النقاش وهو اختصار ل:

2-phosphonobutane-1, 2, 4- tricarboxylic acid.

7- في المعتاد لو ال LSI كانت صفر فلا يتم وضع أنتيسكيل ... ولو زادت إلى 0.2 أو أكبر تبدأ شركات المعالجة في وضع الجرعات المناسبة حتى تصل ال LSI لقيمة 2.5 و 3.5. والبديل للأنتي سكيل عند LSI مابين 0.2 و 0.5 هو إضافة الحمض ... فإذا زاد عن ذلك فيجب إضافة الأنتيسكيل قولاً واحداً.

والدراسات أثبتت أن إضافة الحمض مع الأنتيسكيل تستطيع مقاومة تكون قشور كربونات الكالسيوم ولو وصلت إلى 3000 جزء في المليون.

معنى ذلك أننا يمكن استخدام أنتي سكيل أكثر قوة مع زيادة دورات التركيز وارتفاع ال LSI.

نعم ... تزيد دورات التركيز معناها تقلل مياه التعويض make up وتقلل ال blow down ولكن تضطر لزيادة مضادات القشور (الأنتيسكيل).

8- يتم أحياناً عمل خليط من الأنتيسكيل يجمع الفوسفات والفوسفونات والبولي أكريلات (البوليمر) بنسب معينة ... وحتى نقعد القاعدة ... نجد نوع اسمه Homopolymer يُباع في الأسواق يتكون من مركب واحد من الأنتي سكيل السابقة ... مناسب إن لم يتعدى ال LSI قيمة ال 2 ... فإذا زاد عن ذلك ووصل إلى 3.5 أو كانت هناك مشكلة في ترسبات الحديد والسيليكا لجأنا إلى ما يُسمى بال Co-polymer الذي يتألف من مركبين ... هو خليط من عدة مركبات السابق ذكرها بنسب معينة حتى نحصل على أنتيسكيل أكثر كفاءة وجامع لعدة مميزات من هذا وذاك بل يمنع أي ترسبات حتى بدون إضافة الحمض ... قد يكون نوعان مثل (Maleic & acrylic acid) أو (Carboxylate & sulfonates) ... أو ثلاثة أنواع Teropolymer أو أربعة أنواع Tetrapolymer ... وبالطبع النوع نقصد به المركب الذي يحتوي على المجموعة التي تقوم بوظيفة منع الترسيب Function group.

والبوليمرات عندما تُضاف إلى الفوسفونات تعمل تشتت لها أو تقوم بإذابة الكالسيوم فوسفونات لمنع الفاولينج وهو برنامج متقدم في المعالجة ويعطي نتائج ممتازة.

9- البوليمر يتكسر أحياناً عندما يتعرض للضوء أو يتعرض للكلور أو عند درجة حرارة عالية فيتم إضافة مثبت Stabilizer له يحافظ عليه من التكسير وبنسب معينة تبعاً لنسبة البوليمر المضافة.

10- يتم التوصية بتركيز معين من الأنتيسكيل بال ppm ... والتركيزات العالية من الأنتيسكيل قد تسبب تآكل للحديد وسبائك النحاس فلننتبه إلى الجرعة المطلوبة لا نزيد عليها فلا يحدث تآكل أو ترتفع الكلفة الإقتصادية دون داع ... كما أن زيادة الأنتي سكيل يؤدي إلى ترسبات ملحية مثل الفوسفات الذي يتعدى ال 20 جزء في المليون مع الكالسيوم الذي يتعدى 1000 جزء في المليون حيث تحدث المأساة في المبادل الحراري!

ولا نستخدم المادة بالطبع في حالتها النقية pure بل يلزم التخفيف ... والأنتي سكيل يستخدم مع كربونات الكالسيوم أكثر من فوسفات الكالسيوم كما يحدث في الغلاية ... يتم إضافة أنتي سكيل داخل البرج في نقطة محددة أو يتم إضافتها عند أول التقاء المياه الباردة بالمعدة الساخنة أو المنتج الساخن في المبادل الحراري وأهل الخبرة يحددون هذه المناطق الشائكة!

11- الحديد إن وُجد يتم عمل تشتيت Dispersion له أيضاً بالمشتتات لمنع الترسيب على هيئة حديدك ferric حيث تمتص جزيئات الحديد جزيئات المشتت لداخلها وتتمتع ترسيبها.

تواجد الحديد وترسباته جاءت كما قلنا من نواتج التآكل ... وبالطبع منع التآكل من الأصل أفضل.

12- برج التبريد قد يستخدم كما قلنا في تبريد المياه الخارجة من الآبار التي تتعدى 55 و 60 درجة مئوية وهذا قبل الدخول على الفلاتر أو ال RO ... هنا نقول لا مشكلة في إضافة الأنتي سكيل في دائرة التبريد إذا كان المطلوب هو انتاج مياه صالحة للشرب أو ستدخل في الصناعات الغذائية شرط أن يكون Food grade.

13- نوبانية كبريتات الكالسيوم في المياه أكبر من كربونات الكالسيوم مائة مرة ولذلك التفوير يضبط تركيز كبريتات الكالسيوم ... أما التحكم في كربونات الكالسيوم فعن طريق ال pH.

14- بدلاً من استخدام الأنتيسكيل في الدوائر المغلقة Closed loop فأفضل شيء لها هو استخدام مياه منزوعة الأملاح كلياً أو جزئياً وتكون معرضة للتآكل فيتم إضافة مانع التآكل لها كما تحدثنا من قبل.

أمامنا خياران ... ترسب القشور أو حدوث التآكل ... ماذا نختار؟؟!

بالطبع الترسبات الملحية أفضل من التآكل لأننا نستطيع إزالة القشور مثلاً بالغسيل الكيميائي Acid cleaning كما سنوضح بعد ذلك في مناقشة منفصلة بينما التآكل يقلل من العمر الافتراضي للمعدة ونضطر لتغييرها في النهاية وبالتالي تكون كلفة إقتصادية.

انظر الجداول التالية لبعض برامج المعالجة للاستشهاد (وننبه أن كل برج تبريد له حالته الخاصة (Case study):

LSI	Antiscales	Ratio
< 1.0	Phosphonates and polymer	1:1
1 – 2	Phosphonates and polymer	1:2
2 – 3	Phosphonates and polymer	1:3

Scaling	LSI	RSI/PSI	HEDP	PBTC	PAA
			(100% Active Basis)		
None	0.0	> 5.8	0.0	0.0	0.0
Slight	0.2	5.6 - 5.7	0.2	0.1	0.5
Moderate	0.5	5.3 – 5.5	0.5	0.3	1.0
Strong	1.0	4.7 – 5.2	1.0	0.5	2.2
Very Strong	1.5	4.3 - 4.6	2.0	1.2	4.0
Severe	2.0	4.1 – 4.2	3.0	1.8	x
Very Severe	2.5	3.9 – 4.0	x	2.4	x
Highly Stressed	> 2.7	< 3.9	x	x	x

HEDP = Hydroxy Ethylene Di-Phosphoric acid , PBTC = Phosphonobutane-1,2,4-TriCarboxylic acid.

PAA = Poly-Acrylic acid , PP = Poly-Phosphonate , HMP = Hexa-Meta-Phosphate.

TSP = Tri-Sodium Phosphate , AEP = Amino Ethylene Phosphoric acid.

Table VII
Dosage for Calcium Carbonate Scale Prevention

Scaling	LSI	RSI/PSI	HEDP	PBTC	PAA
			(100% Active Basis)		
None	0.0	> 5.8	0.0	0.0	0.0
Slight	0.2	5.6 - 5.7	0.2	0.1	0.5
Moderate	0.5	5.3 - 5.5	0.5	0.3	1.0
Strong	1.0	4.7 - 5.2	1.0	0.5	2.2
Very Strong	1.5	4.3 - 4.6	2.0	1.2	4.0
Severe	2.0	4.1 - 4.2	3.0	1.8	x
Very Severe	2.5	3.9 - 4.0	x	2.4	x
Highly Stressed	> 2.7	< 3.9	x	x	x
Activity of Commercial Product			60	50	50
% PO ₄ in Commercial Product			55.3	17.6	x

Polyacrylates show a lower level of effectiveness than the phosphonates for calcium carbonate control. Furthermore, higher levels of polyacrylate can create an increase in scale, this time, some of it as calcium polyacrylate. Polyacrylic Acid (PAA) will hold calcium carbonate in solution or dispersion to a PSI of 4.6 at dosages of 4 ppm, but will not be effective at lower PSI values.

وإليك بعض التوصيات الخاصة بالتركيزات المطلوبة للأنتي سكيل (متبقي حر) وننبه أيضاً أنها ليست قوانين صارمة بل تخضع لتوصيات الشركات المعالجة أو المصنعة وتبعاً لطبيعة مياه التبريد وعملية الtry and error:

Antiscalant	ppm (mg/l)
Sodium phosphate	2 - 20
Phosphonates	2 - 20
Polyacrylate	5 - 15
Polymaleic	10 - 25
Co-polymer (or Terpolymer)	5 - 20
EDTA	5 - 100

المهندس أيمن عوني عيد:

في أبراج التبريد تكون نسبة الفوسفونات من 17 - 20 جزء في المليون.

والجداول التالية بها معلومات قيمة عن الأنيسكيل:

Characteristics of some common scale inhibitors			
Scale Inhibitors	Advantages	Limitations	Type / Dosage concentration/pH range
Polyphosphate [Inorganic]	Cost effective Highly soluble in water, thus low concentration is required Low order of toxicity	It has a tendency to hydrolyze and revert back to orthophosphate and forms insoluble calcium orthophosphate.	Type – Inorganic Dosage [mg/L] 1 - 5 Applicable pH range 6.8-7.5 Can be used for calcium carbonate and calcium sulphate inhibition
Organic polymer	No hydrolysis problem when compared with polyphosphate More hydrolytically stable in highly alkaline environment	Low calcium tolerance	Type - Organic Dosage [mg/L] 10 - 15 Applicable pH range Not specified It shall be used together with anionic or non-ionic type non-oxidizing biocide.
Sodium Polyacrylate	Applicable but no specific advantage.	No specific limitation.	Type - Organic Dosage [mg/L] 2 - 3

Scale Inhibitors	Advantages	Limitations	Type / Dosage concentration/pH range
			Applicable pH range Not specified Can be used for calcium carbonate and calcium phosphate inhibition
Aminotris[methylene phosphonic acid] (AMP)	No hydrolysis problem when compare with polyphosphate	Attack rapidly by oxidizing biocides Careful dosage is required to prevent precipitation	Type - Organic Dosage [mg/L] 10 - 20 Applicable pH range 7 - 9 Can be used for calcium carbonate inhibition
(1-hydroxyethylidene) diphosphonic acid (HEDP)	No hydrolysis problem when compare with polyphosphate	Careful dosage is required to prevent precipitation Attack slowly by oxidizing biocides	Type - Organic Dosage [mg/L] 5 - 40 Applicable pH range 7 - 9 Can be used for calcium carbonate inhibition
2-Phosphonobutane - 1,2,4-tricarboxylic acid (PBTC)	No hydrolysis problem when compare with polyphosphate	Careful dosage is required to prevent precipitation	Type - Organic Dosage [mg/L] 20 - 40
	Stable to oxidizing biocides		Applicable pH range 7 - 9 Can be used for calcium carbonate inhibition

سؤال أحد المتدربين:

كثيراً ما نجد ترسبات في بعض المبادلات والبعض الآخر لا يوجد به ترسبات رغم أن مصدر المياه واحد ... ما الأسباب والحلول؟

رد المحاضر:

هذا السؤال نذهب به إلى العوامل التي تؤثر على تكون القشور والترسبات الملحية (ذكرناها من قبل):

- 1- تركيز الأملاح Minerals concentration
- 2- درجة حرارة المياه Water temperature.
- 3- الأس الهيدروجيني pH.
- 4- المواد العالقة suspended solids.
- 5- زمن الاحتباس retention time.
- 6- درجة حرارة سطح المبادل skin temperature of heat exchange.
- 7- معدل سريان المياه flow rate.

تعقيب المهندس إسلام جمال:

في أغلب الأحيان تكون مشكلة flow or velocity أو حرارة skin temp عالية ... وحل مشكلة ال velocity - وهي في الغالب مشكلة تصميم - تكون بعمل ظلمة بوستر تزود السرعة قبل المبادل ... وحل مشكلة الحرارة تكون بإزالة العسر جزئياً.

المهندس أيمن موسيليني عارف:

أكدت تختلف من مبادل لآخر ... ودائماً المشاكل تحدث في المبادلات المرتفعة الحرارة ... وطبعاً تنخفض كمية المياه على المبادل ... وهذا يتطلب التخنيق على المبادلات المنخفضة لوصول المياه إلى المبادلات في الأماكن المرتفعة ... والتخنيق على المبادلات الأخرى طبعاً له حد معين يناسب التصميم ... ورغم ذلك يحدث ترسبات وكما ذكر المهندس إسلام جمال أنه أحياناً يكون عيباً تصميمياً ... وفي هذه الحالات قد نحتاج إلى ظلمة بوستر لزيادته معدل السريان أو خفض العسر الكلي.

تعقيب المهندس علاء محمد إبراهيم صباح:

طالما أن مصدر المياه واحد نستطيع أن نتجاهل المسببات ما عدا درجة الحرارة ... والسبب من الممكن مثلما قال الزميل عيب تصميم على الرغم إن هذا صعب جداً لأن في المبادل الحراري يتم زيادة مساحة السطح بمقدار في حدود 25 % عن المطلوب ... يتبقى كمية السريان وغالباً ستكون السبب ... أما زيادة السرعة كما إقترح الزميل فهذه تسبب مشكلة ال Erosion.

المهندس أيمن موسيليني عارف:

هي في الغالب فعلاً تكون معدل السريان وهذا يحدث دائماً في المبادلات التي في أماكن مرتفعة وهذا يحتاج ضبط توزيع المياه على المبادلات ... ورغم ذلك يحدث ترسبات فبعض الشركات يحققوا

حمض كبريتيك للتحكم في الـ pH وقلوية المياه قبل المبادل مباشرة ... وهذه المشكلة كانت موجودة عندي ومع خفض العسر تم حل المشكلة عن طريق الـ RO وفي مصانع أخرى يتم حقن سالفميك أسيد Sulphamic acid على فترات على دخول المبادل.

تعقيب المهندس علاء محمد إبراهيم صباح:

حقن الحامض يقلل تركيز الكربونات وهذا يقلل فعلاً من حدوث الترسيب ... لكن لحد معين من درجات الحرارة.

وحول تأثير إضافة الحمض على الـ pH لدائرة التبريد وتأثيره على برنامج المعالجة وانخفاض معامل رايزنر يقول المهندس أيمن موسيليني:

الحقن يكون على مبادل او اثنين من أكثر من 30 مبادل ... فكمية المياه التي ستحقن عليها ستكون تقريباً 2% من قيمة الـ circulation ... وعملياً لا يؤثر على الـ pH الكلية للبرج ... وطبعاً يتم قياس الـ pH بعد المبادل ويكون التغيير طفيف جداً نتيجة تفاعل الحمض مع الراسب.

تعقيب المهندس هاني حسنى:

بالنسبة لمشكلة الترسيبات علي المبادل فعلاً قابلتنا هذه المشكلة وعانينا منها حتى استطعنا الحمد لله نصل إلى حل لها ... وضعنا نقطة حقن مباشرة علي دخول المبادل من مادة Dispersing التي نضيفها في أبراج التبريد وفعلاً حصلنا على نتيجة ممتازة ... وفي نفس الوقت بدون أي تكلفة زائدة لأن تركيز مادة Dispersing في نفس المعدل ... لأنني أتحكم في تركيزه عن طريق جهاز trasar وأيضاً ليس له أي تأثير علي التحاليل أو تركيزات مياه برج التبريد ... وبرنامج المعالجة لم يتأثر نهائياً ... بالعكس شركة المعالجة أعجبت تماماً بالفكرة.

تعقيب المهندس أيمن موسيليني عارف:

كن حذر ... فالـ pH الخاصة بالـ Dispersant أقل من 3.0 ومن الممكن يسبب تآكل في نقطة الحقن ... فقد كنا نحقن نفس الـ Dispersant على دخول المبادل وقابلتنا مشكلة أنه تم الحقن على vent دخول المبادل وهو خط carbon steel فحدث تآكل للـ vent وفي الخط حول الـ vent ... طبعاً تم تغيير الوصلة كلها وعمل نقطة حقن pvc على حرف L بحيث يتم الحقن في منتصف الخط ... وفعلاً الأمور مستقرة على هذا المبادل وأيضاً تم زيادة الـ flow عليه برفع ضغط water Return

تعقيب المهندس هاني حسنى:

كلامك صحيح ولذلك لم نجعل الحقن من علي الماسورة ... تم زيادة طول الماسورة بحيث أنه يكون الحقن في وسط الماسورة وسط المياه من الداخل وبهذا لن يكون هناك تآكل.

المهندس أيمن عوني عيد:

هذا جدول لبعض كيماويات الفوسفونات المختلفة وتأثيرها علي الأملاح التي تسبب الترسيبات:

TYPICAL PROPERTIES - STANDARD GRADES											
Product code Chemical name	2000/2006 Amino tri (methylene phosphonic acid) P-53		2010/2016/2016D 1-Hydroxy ethylidene (1,1-diphosphonic acid) 20-46			2041/2046 Ethylene diamine tetra (methylene phosphonic acid)	2054 Hexamethylene diamine tetra (methyl-phosphonic acid)	20605/2066A/2066 Diethylene triamine penta (meth. phosph. acid)			
Structure											
DEQUEST	2000 (Acid solution)	2006 (Pentasodium salt)	2010 (Acid solution)	2016 (Tetrasod. salt)	2016D (Tetrasod. salt)	2041 (Solid acid)	2046 (Pentasodium salt)	2054 (Hexapotasium salt)	20605 (Acid solution)	2066A (PN* solution)	2066 (Heptasodium salt)
Physical properties											
Molecular weight	299	409	206	294	294	436	546	721	573	617 (approx.)	727
Appearance	Clear water white to pale yellow aqueous solution	Clear water white to pale yellow aqueous solution	Clear water white/pale yellow aqueous solution	Clear water white/pale yellow aqueous solution	White free flowing powder	White crystalline solid	Clear water white to pale yellow aqueous solution	Clear water white to yellow aqueous solution	Clear brown aqueous solution	Clear dark amber aqueous solution	Clear amber aqueous solution
Abbreviation	ATMP	Na ₅ ATMP	HEDP	Na ₄ HEDP	Na ₄ HEDP	EDTPMA	Na ₅ EDTPMA	K ₆ EDTPMA	DTPMA	DTPMA/PN	Na ₇ DTPMA
Active content	50% (as acid)	29% (as acid) 40% (as salt)	60% (as acid)	21% (as acid) 30% (as salt)	59% (as acid) 84% (as salt)	92% (as acid)	25% (as acid) 31% (as salt)	23% (as acid) 33% (as salt)	50% (as acid)	47% (as acid)	25% (as acid) 32% (as salt)
Specific gravity, 20/20°C	1.33	1.42	1.45	1.31	0.9g/cm ³ (bulk density)	0.92g/cm ³ (bulk density)	1.32	1.29	1.42	1.41	1.29
pH, 1% solution at 25°C	<2	10-11	<2	11-12	11-12	<2	6-8	6-8	<2	2-3	6-8
Freezing point, °C	-15	-21	-25	-5*	N/A	N/A	-14	-18	-25	-20	-14
Chloride as Cl	<1%	<1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.5%	<5%	<5%	15-17%	<5%	<5%
Iron (Fe), ppm	<20	<20	<20	?	<15	<35	<10	<35	<20	<20	<20
Functional properties											
CaCO ₃ inhibition	Excellent		Excellent			Good		36.5 to 64.4 36.8 to 59-6		Very Good	
CaSO ₄ inhibition	Good		Poor			Very Good		Excellent		Very Good	
Calcium compatibility	Good		Poor			Good		Very Good		Good	
Iron control	Yes		Yes			Yes		Yes		Yes	
Sequestration	Good		Good			Excellent		Poor		Excellent	
Steel corrosion inhibition (formulated)	Excellent		Very Good			Very Good		Good		Very Good	
Recommended uses	Cooling water treatment, boiler treatment, I&I cleaners. General purpose metal ion control, oil field.		Cooling water, boilers, pool stain prevention, metal ion control, laundry and dishwash detergents.			Detergents, peroxide bleach stabilization, I&I cleaners, geothermal, oil field, cement hardening retardation.		Boiler treatment, reverse osmosis desalination.		Cooling water treatment, detergents, peroxide bleach stabilization, I&I cleaners, geothermal, oil field, textile.	
Application notes	Good general purpose, cost-effective scale inhibitor. Good corrosion inhibition with Zn and phosphates. Good chelant.		Noted for its excellent CaCO ₃ scale inhibition and chlorine stability.			Good general purpose scale inhibitor. Powerful sequestrant. Good deflocculant for cement.		Excellent CaSO ₄ inhibitor. Recommended in systems with high alkalinity and pH.		Good general purpose scale inhibitor. Powerful sequestrant. Second best phosphonate against barium sulphate. * PN = Partially neutralized sodium salt	
Above referred values are typical values at date of printing of this brochure. They should not be construed as commercial specifications, and can be modified by Solutia.											
Check with Solutia for current product specifications.											



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

24

مقاومة النمو
البيولوجي!



النقاش الرابع والعشرون:-**24- مقاومة النمو البيولوجي بإضافة البايوسايد (Biocides)**

البايوسيد أو مضاد الميكروبات Anti-microbes أو anti-Biofouling كلها مسميات لنفس الشيء ... هي مضادات (مثبطات) البكتيريا والطحالب والكائنات الدقيقة بوجه عام ... في هذه المناقشة سنطلع على معلومات هامة عن البايوسيد وأنواعه ومميزات كل نوع وعيوبه ونتعرف على ما يُسمى بالمشتتات البيولوجية.

مهم أن نتطلع على الكلام التالي:

• منع النمو البيولوجي من الأصل (prevention): عن طريق جودة التحكم في الـ make up والتحكم الجيد في التآكل وتكوين القشور والنمو الأحيائي ... وأخيراً تقليل المواد العضوية لأقل درجة فهي طعام الكائنات الدقيقة.

• يتم إضافة البايوسيد biocides لنظم تبريد الماء بغرض:

1- منع تكوين الـ microbial fouling (أو طبقة البايوفيلم) على المبادل الحراري وأسطح وجدران برج التبريد وغيرها.

2- الحد من تزايد عدد البكتيريا التي تسبح في المياه (bulk fluid) أو البلانكتون كما شرحنا من قبل.

• الهدف هو الوصول إلى عدد بكتيري للبكتيريا الهوائية Aerobic يساوي أو أقل من 10000 خلية لكل مل من المياه في برج ودائرة التبريد ... وفي دوائر التبريد المغلقة closed loop يكون عددها 1000 خلية لكل مل ... وبالنسبة للبكتيريا اللاهوائية يكون عددها 50 خلية لكل مل أو أقل.

• الحد من تكون البايوفاولينج يكون بإضافة مضادات البكتيريا والطحالب (البايوسايد Biocides) والأفضل هنا - بعكس الكيماويات الأخرى - توزيع أماكن حقن البايوسيد لتشمل كل أجزاء البرج ... وعملياً نرى أن معظم البكتيريا والطحالب تتركز في البرج دون الأجزاء الأخرى لأنه معرض للهواء وضوء الشمس.

• يتحتم إضافة البايوسيد لو تم إضافة كيماويات بها عناصر مغذية كالنيتريت والفسفات.

• من أهم شروط البايوسيد Biocides:

1- له كفاءة عالية في قتل ومنع الفاولينج البيولوجي.

2- كامل الذوبان في المياه.

3- له pH متكافئة في الـ pH الخاصة بدائرة التبريد ... وقيمة الأس الهيدروجيني pH مهمة جداً في عمل البايوسيد وأي اختلاف عن الموصى به يُفقد كفاءة البايوسيد ويزيد النمو البيولوجي.

4- لا يسبب رغوة foam.

5- يُرفق معه طريقة الاستخدام وتوصيات الشركة الموردة.

6- يُرفق معه الـ MSDS الخاص به وبالأخص لو كان له اسم تجارى لمعرفة طرق السلامة عند التعامل معه وكيفية عمل disposal له.

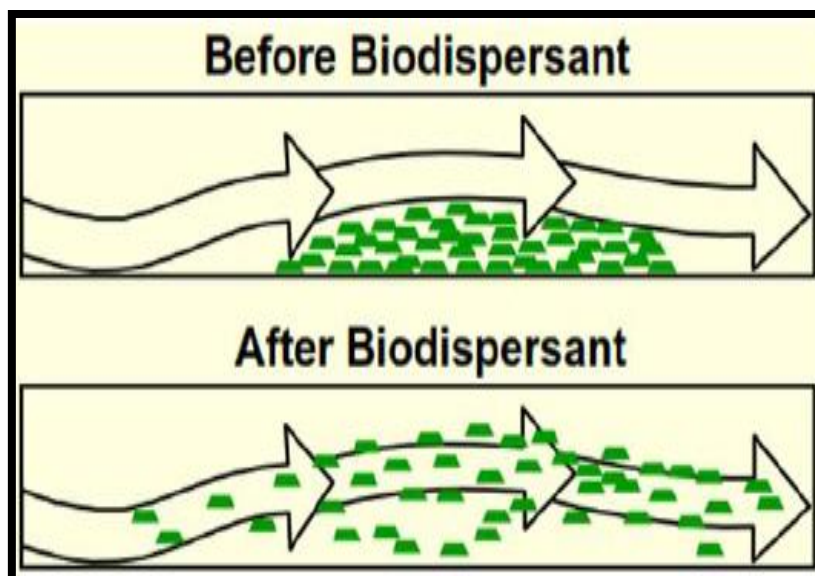
- إضافة البايوسيد لا يمنع النمو البكتيري تماماً ولكن يحد من نموه ... فلننتبه.
- تغيير البايوسيد أفضل في المعتاد من حين لآخر حتى لا تعتاد الميكروبات عليه (مثل تغيير المبيدات الزراعية من وقت لآخر).
- عند وضع shock dose نغلق التفوير حتى لا نهدر المواد الكيميائية المضافة ... وهذا أمر عام في المعالجة الكيميائية ككل.

مداخلة المهندس محمد علي السعيد أحمد:

المهم نفحص البيوفيلم المتكون ... لمعرفة هل بكتريا فقط أم متداخل معاها طحالب أو بروتوزوا وهذا سيحدد كيفية التعامل ... و أيضاً نحلل العينات قبل عملية المعالجة وبعدها و نرى مدى تأثيرها علي التلوث الميكروبي.

المشتتات البيولوجية!

- قبل أن نتحدث عن أنواع البايوسيد ... نقول أن البكتيريا إذا تكونت في طبقات أو مستعمرات فإن البكتيريا التي على السطح تكون عرضة للقتل بالبايوسايد أكثر من البكتيريا الداخلية المدفونة والتي تكمل نموها بعد ذلك ... وذلك يقلل من كفاءة البايوسيد والسبب في ذلك أن البكتيريا تُفرز مادة لاصقة هي الـ polysaccharide slim والتي تعوق عمل البايوسيد ... ولذلك حتى نصل لأعلى كفاءة للكلور أو البايوسيد في قتل جميع البكتيريا يُنصح بإضافة مادة تُسمى مشتت بيولوجي Bio-dispersant يقوم بعمل تشتيت للمستعمرات البكتيرية على الجدار أو في الماء لتصل إلى جميع البكتيريا عملاً بالقاعدة التي تقول "فرق تسد"! ... وتُضعف التصاقها بالسطح ... ولكنها لا تقتل البكتيريا ... فقط تشتتها ... تفتح السكة للبايوسيد ليصل لكل البايوفولنج ... وهي مادة توضع قبل البايوسيد كجرعة صدمة shock dose بحوالي نصف ساعة تبعاً لمعدل الدوران circulation rate ... (وتتكون في المعتاد من بوليمر) وتوفر 70 - 80 % من الكلور المضاف بعد ذلك ... وهناك بعض الأنواع من البايوسيد له خاصية عمل التشتيت للبكتيريا أيضاً (يعني 2 في 1!).



أشهر أنواع المشتتات البيولوجية هي الـ surfactant ... وهي مواد عضوية تقلل من التوتر السطحي للمياه وتساعد على اختراق الفاولينج وتمهد الطريق للبايوسايد ليقوم بعمله ... منها أنيونية أو أنيونية أو غير أيونية إلخ ... ومنها عائلة المنظفات المنزلية Detergents ... كما أن لها فائدة تنظيف منظومة التبريد من الزيوت والهيدروكربونات إن وجدت.
أمثلة للمشتتات البيولوجية:

Acrylates, Ligonsulphonates, methacrylates and Poly- carboxylic acids
...etc.

أنواع البايوسيد:

أنواع البايوسيد الذي يمنع النمو البيولوجي كثيرة جداً تجتمع تحت عنوانين كبيرين ... مواد بايوسيد مؤكسدة ومواد بايوسيد غير مؤكسدة ... وتحت هذين النوعين قد نتكلم كلاماً كثيراً لا ينتهي !

1- بايوسيد مؤكسد :Oxidizing Biocide

وهو يسبب الموت السريع للميكروبات ويؤكسد المواد العضوية سواء أكانت بالمياه أو في جسم الميكروب.

1- Halogens:

A- Chlorine.

B- Bromine.

C- Iodine.

2- Ozone.

4- Peracetic acid.

6- Peroxy acid.

3- Hydrogen peroxide.

5- Chloroxyleneol.

7- Potassium peroxy-monosulfate.

وما سنتحدث عنه هنا باختصار هو الكلور والبروم ... والأنواع الأخرى تستخدم نادراً أو على نطاق ضيق في دوائر وأبراج التبريد.

الكلور Chlorine هو أشهر الأنواع ... وأهم أنواعه الكلور السائل المتمثل في هيبوكلوريت الصوديوم sodium hypochlorite ... وهذا واحد من أهم وأفضل وأرخص المواد المستخدمة لمنع النمو البيولوجي biocide ... واستخدامه ضرورة وكمية حقته يجب أن تكون محسوبة وليس بعشوائية. وهناك الكلور الغاز (chlorine gas) وهو ليس سهلاً في التداول handling كالسابق الذي يأتي في جرات عند نقله في أي وسيلة مواصلات ... أما الكلور الغاز فتداوله صعب نظراً لأنه يأتي في أسطوانات ويتطلب أوناش ومعدات لحمله ووضع بطريفة آمنة أثناء النقل مما يزيد التكلفة الاقتصادية.

أيضاً هيبوكلورايت الكالسيوم فعال وعظيم ويعيبه ارتفاع ثمنه ... وهناك أقراص الكلورين Chlorine tablets ... وأيضاً هناك ثاني أكسيد الكلورين Chlorine dioxide (أقراص أوبودر أو سائل) وهو مناسب مع الشركات الكبيرة لأن التكلفة الأولية فهو يتطلب معدات خاصة special equipments ... لكن بعد ذلك تكون التكلفة أقل على المدى الطويل ويتطلب جرعة أقل من صور الكلورين الأخرى لأنه أكثر كفاءة (خاصةً مع بكتيريا الليجونيل التي سنفرد لها نقاش بعد ذلك) وهو آمن ويتكون داخل المياه في منظومة خاصة (reactor).

عند إضافة هيبوكلورايت الصوديوم فهي عادة تقدم مع مثبت (Stabilizer) ويمكن إضافة حمض الكبريتيك لتفعيله ... وهو ما يحدث في المعتاد ليكون على هيئة الهيبوكلوراس hypochlorous acid (HOCl) المتواجد في الوسط الحمضي وهو أقوى من الهيبوكلورايت OCl^- المتواجد في الوسط القاعدي.

سؤال متدرب:

أي نوع من البكتيريا يتفاعل مع الكلور وهل هناك فرق عن الطحالب؟

رد المحاضر:

كل نوع من البكتيريا أو الطحالب له مدة في قتله تسمى Contact time فهناك من يموت مع الكلور في الحال ومنه من يحتاج في قتله ثلث أو نصف ساعة بتلامس غير منقطع مع الكلور وهناك من يحتاج لقتله أكثر من 24 ساعة! وهناك كتب ومراجع ذكرت الـ CT أو زمن التلامس مع الكائنات المختلفة!

سؤال متدرب:

هل جرعة كلورين متبقي 1.0 ppm تسبب تآكل للمبادل؟

رد المحاضر:

هذا التركيز هو بداية الحد الأدنى لحدوث التآكل ... وقد تم شرح تأثير الكلورين في مناقشات التآكل.

رد المهندسة أميرة عبد المنعم:

يُفضل الكلور الحر يكون من (0.2- 0.5) جزء في المليون ... والكلور بطبيعته مُطَاطير يقتل البكتيريا وبعد نص ساعة المتبقي residual يطير. الصنف الثاني وهو البروم Bromine وله صور مختلفة ... مثل أقراص البرومين أو البرومين السائل وبروميد الصوديوم sodium bromide وحمض

الهيوبروموس hypobromus acid ... إلخ ... والبرومين يعيبه أنه مرتفع السعر (أعلى عشرات المرات من الكلور) لكنه فعال جداً ويحتاج لجرعة أقل من الكلور ... وتستخدمه مصانع الأسمدة بدلاً من الكلورين لأن الكلور مع المركبات النيتروجينية يكون مركبات الكلورامين المسببة للسرطان وقد أشرنا إلى ذلك من قبل ... أما البروم فهو لا يتفاعل مع النيتريت والنترات مطلقاً. الجدير بالذكر أن ثاني أكسيد الكلور لا يتفاعل مع الأمونيا مثله مثل البرومين.

المهندس نادر النجار:

في بعض أبراج التبريد يتم حقن sodium hypochlorite & sodium bromide معاً حيث تزداد الفاعلية في قتل البكتيريا.

ورداً على السؤال:

معلوماتي أن Peracetic هو ال Peroxy acid ... من فضلكم صوبوني لو كنت مخطئاً.

رد المحاضر:

البيرأسيتيك هو نوع من البيروكسي أسيد وسيتم التفصيل:

Peroxy acid = peracid = R-COOOH

حيث أن ال R مجموعة الكيل عضوية مشتقة من الميثان أو الإيثان .. إلخ فلو كانت ال R = CH₃ ... يعني مجموعة ميثيل أصبح الاسم بيرأسيتيك أسيد Peracetic acid ورمزه CH₃COOOH ... حيث أن إضافة ذرة أو كسجين ثالثة على حمض الأسيتيك CH₃COOH ينتج البيرأسيتيك ... يعني ال Peroxy قائمة من المركبات مثل Alcohols ويندرج تحتها أكثر من مادة فهي جزء من مجموعة الأحماض الكربوكسيلية التي تتميز بالمجموعة COOH مثل الكحولات التي تتميز بمجموعة C-OH ومشتقاتها ... وبالمناسبة ... يتكون البيرأسيتيك من اتحاد فوق أكسيد الهيدروجين H₂O₂ مع حمض الأسيتيك ... والخليط يُطلق عليه تجارياً اسم الأكسونيا Oxonia ...

2- بايوسيد غير مؤكسد Non-Oxidizing Biocide:

عادةً ما يتكون مواد عضوية ويتم اللجوء إليه لو كان الكلور غير مناسب ... وهذا النوع يمنع العمليات الحيوية في الخلية (المتابوليزم Metabolism) عن طريق:

- 1- تغيير نفاذية جدار الخلية.
 - 2- تدمير المجموعات البروتينية.
 - 3- ترسيب البروتين.
 - 4- منع التفاعلات الإنزيمية الحيوية.
- وهو يسبب الموت البطيء للميكروبات ويتفاعل مع أجزاء من الخلية فمثلاً يكسر جدار الخلية أو يمنع تكاثرها ... إلخ.
- واستخدام مواد non-oxidizing biocide أحياناً تكون مفيدة وأحياناً تكون عديمة الجدوى لأن الصوديوم هيبوكلوريت يقوم بالواجب ... وبالطبع نوعه يتحدد تبعاً لنوع البكتيريا والصناعة.

وتوجد أنواع عديدة من البايوسايد الغير مؤكسد أشهرها هو ما وضعناه بالجدول التالي:

Isothiazoline (= Alkyl isothiazolin-3-ones):

الأيزوسيازولين فعال إلى حد كبير ولكن مع الطحالب يتطلب جرعات كبيرة ما بين 35 – 880 جزء في المليون مما يجعل تكلفته عالية بجانب خطورته على صحة العاملين حيث يهاجم تركيب العين ... الميزة التي يمتلكها هو أنه Biodegradable ... يعني يتحلل في الماء بيولوجياً فله تأثير محدود على البيئة.

Glutaraldehyde (= pentane-1, 5-dial):

فعال جداً وسريع التأثير على البكتيريا والبايوفيلم ولكن له تأثير محدود على الطحالب والفطريات ... يعمل في pH ما بين 6.5 – 9 والجرعة ما بين 45 – 56 جزء في المليون ... وقد تتطلب أكثر من ذلك بكثير حتى تصل إلى 600 في الحالات الحرجة ... بالطبع مرتفع الثمن ... له صلاحية قصيرة في المياه مما يجعله مناسباً للبيئة.

Quaternary ammonium salts (=quats = alkyl-dimethyl-benzyl ammonium chlorides):

نوع من الأمينات (وليس ألدهيد) ... أكثر سلامة ولكن يعمل فوم Foam يسبب خلخلة في الضغوط ... وفي بعض الأحيان يكون سام (لا يتطلب جرعة يومية ومطلوب منه جرعة قليلة) ... يعمل ضد البكتيريا والطحالب بنسب من 25 – 600 جزء في المليون ... بوجه عام سعره غير مرتفع. والفوم من الممكن محاربته بتركيز عالي من الكالسيوم في الحدود المسموح بها. وهناك نوع اسمه Quat -distributyl tin قوي جداً ويتطلب جرعة ما بين 40 – 100 جزء في المليون ... ويعبه أن القصدير tin مؤذي للبيئة.

Carbamates (like: Sodium dimethyldithiocarbamate and Potassium dimethyldithiocarbamate):

عملياً فعال جداً مع كل مسببات البايوفوللينج ... وممتاز ضد الطحالب ... يعمل في pH من 7 – 8.5 بجرعة من 12 – 18 جزء في المليون ... قد تصل إلى 60 في الجرعات الحرجة ... للأسف ضار بصحة الإنسان والبيئة ويسبب ترسيب مع المعادن.

DBNPA (Dibromo nitrilo propionamide):

برومين مع مركب عضوي organo ... بايوسايد فعال ... جرعته المطلوبة من 25 – 100 جزء في المليون ... ويزيد في حالة الطحالب ... يعمل في pH ما بين 6.0 – 9.5

Hydroxymethyl nitro (Trisnitro):

فعال في حالة واحدة فقط مع طول فترة بقاؤه في المياه ... الجرعة المطلوبة من 70 – 140 جزء في المليون ... ونادراً ما يُستخدم مع دوائر التبريد.

Methylene bithiocyanate:

بايوسيد قوي من 15 – 90 جزء في المليون عند pH تحت 7.8!

Triazine :like: 2-(tert-butylamino)-4-chloro-6-ethyl amino-s- & 1,3,5-tris(2-hydroxyethyl)-s-triazine (HHT) Triazine

ينطلق منه الفورمالدهيد ... ممتاز لقتل الطحالب ويعمل مع أي pH ولا يسبب رغوة foam وتركيزه المطلوب تبعاً لحالة الدائرة ... من 1 – 1.5 جزء في المليون ويمكن تزيد الجرعة حتى 75 جزء في المليون ك shock dose ... يستخدم كمساعد مع الكلور.

Formalin:

الفورمالين نوع من البايوسايد لكنه ضار ويسبب السرطان.

بالطبع التركيزات المكتوبة تخضع للتجربة ولخبرة وتوصيات الشركة الموردة أو شركات المعالجة ... كما أن هناك أنواع أخرى كثيرة من البايوسايد الغير مؤكسد مثل:

Chloramines - BHAP = 2-bromo-4-hydroxyacetophenone – QAC – bronopol
- Alkyl benzyl Dimethyl ammonium chloride - Ethylene Chloride.

المميزات "العامة" للبايوسايد الغير مؤكسد:

- 1- مناسب للأنظمة التي تعاني من فاولينج عالي.
- 2- الملوثات التي تستهلك الكلورين مثل الأمونيا والمواد العضوية تأثيرها ضعيف مع البايوسايد الغير مؤكسد.
- 3- بتركيزات منخفضة تصبح فعالة جداً.
- 4- تتأكل في البيئة بسهولة يعني environmentally biodegradable وبالتالي إطلاقها للبيئة لايسبب مشاكل تذكر.
- 5- لا تهاجم الأنثيسكيل العضوي وأقل تسبباً في التآكل مقارنة بالكلورين.
- 6- إضافة الكلور في الأماكن المكشوفة غير مناسب لتعرضه للتبخر السريع وبالتالي يفقد كفاءته في قتل الميكروبات لذا نلجأ إلى المواد الغير مؤكسدة (وإن كان الكلور في الأصل له قوة خارقة في التعقيم).

السلبيات "العامة" للبايوسايد الغير مؤكسد:

- 1- تكاليفه أعلى من الكلورين.
- 2- حساس لل pH.
- 3- بعض الأنواع تكون مخصصة لنوع معين من الكائنات دون غيرها.
- 4- بعضها غير فعال مع الطحالب.

جرعات البايوسايد ... الكم والكيف!

- (الجرعة المطلوبة (أو التركيز) + زمن التلامس Contact time + نوع البايوسايد أو الجمع بين عدة أنواع من البايوسايد) لا يخضعوا لقوانين صارمة ولكن يخضعوا للمحاولة والخطأ Try and error تبعاً لظروف التشغيل وطبيعة المياه ونتائج التفتيش الدوري.

- قاعدة: ضخ الصوديوم هيبوكلورايت – وهو أشهر نوع – يكون بشكل مستمر في المناطق الحارة وجرعات صادمة في المناطق المعتدلة والباردة.
- التوقيت بين الجرعة والجرعة يعتمد على الـ life time للبايوسيد في المنظومة ... قد تضيق الآن بايوسيد وتموت البكتيريا ثم ترجع بعد 3 أيام أو أسبوع ... فتكون الإضافة مع انتهاء الـ life time وهذا يختلف من منظومة لأخرى ... وهناك أنظمة تطول مدة الـ life time فيها إلى أكثر من 20 يوم.
- يجب عدم إضافة جرعة زائدة من الكلورين وإلا تعرضنا لخطر التآكل ... كما أن ذلك يسبب في تدهور بنيان الخشب لو كان مستعملاً.

• عامةً نقول أن الجرعات الموصى بها يتم اتخاذ قرار بها بناءً على الكلام التالي:

- 1- حقن مستمر للكلورين بحيث يصبح المتبقي 0.5 - 1 جزء في المليون (as Cl₂).
 - 2- عند استخدام هيبوكلورايت الصوديوم يتم حقن جرعات بينية intermittent ليصل الكلورين الحر إلى 3 جزء في المليون (as Cl₂) لمدة ساعة أو ساعتين في اليوم ... ويمكن إضافة صدمة كلورينية 2 - 4 مرات يومياً مدة كل مرة 20 - 30 دقيقة.
 - 3- البرومين نصل بمتبقي له 0.5 - 1 جزء في المليون (as Br) .
 - 4- ثاني أكسيد الكلورين نصل بمتبقي له 0.2 - 0.5 جزء في المليون (as ClO₂) ... ويتم حقن جرعات بينية منه intermittent ليصل الكلورين الحر إلى 1.5 جزء في المليون (as ClO₂) لمدة ساعة أو ساعتين في اليوم ... وحقن صدمة منه 2 - 4 مرات يومياً لمدة 20 - 30 دقيقة.
 - 5- البايوسايد الغير مؤكسد بتركيز 5 - 30 جزء في المليون تبعاً للتوصيات.
- تضاف جرعة يومياً أو أسبوعياً أو كل أسبوعين أو كل شهرتبعاً لطبيعة المياه وبعد حسابات خاصة والخبرة العملية ... خاصة إن كان البايوسايد مرتفع الثمن إلا إذا استخدمنا الكلور فيتم ذلك بشكل يومي في المعتاد ... ويمكن استخدام أكثر من نوع ... يعني بالتبادل كما ذكرنا منذ قليل ... ونسمي البرنامج:

Dual Alternating Biocide Program

(مثال التبادل بين الأيزوثيازولين والـ quaternary).

- نحذر من جشع بعض الشركات الموردة وإضافة البايوسيد دون داعي ... وأحياناً قد لا نضع بايوسايد إلا كل فترات كبيرة جداً وأهم أسباب ذلك أن أختنا مياه التبريد لا تمكث كثيراً في برج التبريد وتمر في المبادل الحراري وتكتوي البكتيريا بمياه تصل إلى 60 درجة مئوية أو أكثر تعمل على قتل أي بكتيريا ... وهناك حد أعلى للعد البكتيري ما دمنا لم نتجاوزه فلا داعي لإضافة بايوسيد اللهم إذا كان ذلك إرضاءً للعميل الذي يعجبه كثرة المصاريف على وحدته!
- أما الـ bio-dispersant أو المشتت البيولوجي فمن الممكن إضافته كل أسبوع.
- عند إضافة الفوسفات ومشتقاته كمانع تآكل قد نضطر لزيادة جرعة الكلور نتيجة أن الفوسفات مادة مغذية تزيد من نمو البكتيريا والطحالب ... وبالتجربة نستطيع معرفة أنسب جرعة للكلور حتى نصل إلى تركيز 0.5 من الكلور الحر المتبقي كحد أدنى.

- ترك الدائرة أثناء توقف برج التبريد يؤدي لتكون البايوسايد والطحالب خاصة في حوض البرج السفلي Basin ... والأفضل عمل تدوير circulation للمياه يومياً من ساعة إلى ساعتين مع استخدام بايوسايد.

سؤال متدرب:

أيهما أفضل إضافة البايوسايد الغير مؤكسد بجرعة واحدة أسبوعياً أو بشكل مستمر يومياً؟؟

رد المهندس أميرة عبد المنعم:

يُضاف shock dose كل أسبوعين لأن تأثيره طويل المدى وهو مادة معقمة.

المهندس نادر النجار:

من الممكن زيادة جرعة البايوسايد الغير مؤكسد يؤدي لحدوث الرغوة وهذا يؤثر في عمليات التشغيل للمنظومة.

انظر صورة جاءت على المنتدى من قبل لحوض برج تبريد كان يتم توقفه بدون تدوير للمياه فيه وتكاثر فيه الطحالب:



ولنتذكر في النهاية ... الفاصل النهائي في تحديد الجرعة المناسبة من البايوسايد هو العد البكتيري ... فلا بد من متابعته معملياً لنعرف موقع أقدامنا ... فلا نقلل البايوسايد عن الجرعة المناسبة ولا نزيدها!

سؤال متدرب:

ما الفترة التي عندها يجب إضافة بيوسايد مرة أخرى لدائرة شيلر مغلقة؟

رد المحاضر:

من أهم الأهداف في هذه الدورة التدريبية هو أن نعلم أنه لا يوجد قانون أو توصية متحجرة لبرنامج المعالجة ... بل يخضع ذلك لعدة عوامل منها خبرة الشركة المعالجة ... طبيعة المياه ... توصية الشركة الموردة للمادة الكيميائية ... نظام الـ try and error ... ولذلك لا نستطيع أن تأخذ إجابة موحدة من الزملاء ... ولكن في المُجمل هو أن مراقبة العد البكتيري هو الفاصل النهائي في تحديد الزمن بين الجرعتين مع ثبات الظروف الأخرى ... وهي بالفعل ثابتة نسبياً بالمقارنة بالنظام المفتوح أو النصف مفتوح.

تعقيب الدكتور أحمد أنور أحمد:

هذا الكلام هو الأصح على الإطلاق ... أما من يقول كل شهر وكل أسبوع وكل أسبوعين بدون سند مرجعي للأسف فكلامه خطأ.

أضيف لكم معلومة صغيرة وتفصيلها كثيرة ... تحدد الفترة بين الجرعات على أساس الحمل البيولوجي وفترة نصف العمر لمياه برج التبريد وتركيز المادة الفعالة ... ولا يصح أن نقول هذا برج في مصنع أدوية فيجب الإضافة كل أسبوع وهذا في مصنع حديد فتجب الإضافة كل شهر ... وبعد هذه الحسابات تخضع التجربة للتقييم وإعادة ضبط المدة إذا لزم الأمر.

تعقيب المهندس أيمن عوني عيد:

اختلف في جزئية المكان ... وأقصد بالمكان طبيعة الصناعة ... ففعلاً مصانع الأدوية خصوصاً المصنعة للمضادات الحيوية تحتاج لمعاملة خاصة جداً وهذا عن تجربة شخصية فأحياناً نعالج مشاكل البرج البكتيرية باستخدام أربع عائلات مختلفة من مضادات البكتيريا (biocides) وأخذ عينات دائمة للكشف عن البكتيريا ... لذلك هناك فرق كبير في أسلوب المعالجة واختيار البرامج المناسبة لكل بيئة.

تعقيب المهندس مدحت سعيد خليفة:

ليس شرطاً كل أسبوع ... من الممكن أن تبقى شهرية أو كل أسبوعين.

تعقيب المهندس سلمان الفارسي:

في الغالب تكون كل أسبوع.

سؤال متدرب:

هذه صور لبرج تبريد ... أريد أن أعرف ما الذي ظهر وما سببه؟



رد المهندس عبد الجابر صلاح لهلوب:

طحالب وفطريات ... يجب إضافة نوعين من الـ biocide بشكل مستمر واحد كل أسبوع ... مؤكسد وغير مؤكسد:

Oxidizing: معناه أن المادة عندما تتفاعل تنقل إلكترون وتعمل على منع وصول المغذيات لنواة الخلية وتقضي عليها ... أكثر المواد استخداماً هو الكلور السائل (صوديوم هايپوكلورايت تركيز 12%) ويجب أن تُحافظ على نسبة 0.2 ملغ/لتر كنسبة مستمرة ... وكل أسبوع ترفعها ل 0.5 - 0.7 ملغ/لتر لمدة 3-4 ساعات كجرعة صادمة.

Non-oxidizing: يعمل أيضاً على القضاء على البكتيريا والطحالب لكنه "ألطف" على المعادن ... وكميته تختلف حسب الشركة المصنعة وتُضاف كل أسبوع.

المهندس أيمن موسيليني عارف:

عدم انتظام حقن الكلور ... ولوهذا الوضع استمر طويلاً فتكون الفطريات قد يتسبب في تحلل الخشب الذي يحمل البرج وينهار البرج تماماً ... الأمر يحتاج متابعة جيدة وانتظام حقن الكلور وحقن Biocide.

وهذه باقة من البايوسايد الغير مؤكسد مع عدة معلومات تخص كل نوع يقدمه لنا الدكتور احمد أنور أحمد:

BHAP

- 2-Bromo-4-hydroxyacetophenone for bacteria and, slimes.
- Useful for once-through cooling systems
- Dose rate is **1 to 3 ppm**
- For recirculating cooling systems **10 to 20 ppm** up to 80ppm

Glutaraldehyde

- Pentane-1,5-dial.
- good penetrating ability.
- Effective against SRBs and biofilms. **NOT** against algae and fungi.
- Cross-link outer proteins of cell
- Fast-acting biocide (3 to 4 hours, up to 4 or 6 hours with difficult slimes) a wide pH range (typically pH 6.5 to 9.0)
- Typical use concentration is **100 to 125 ppm** up to 200 to 300 ppm

Isothiazolines

- Alkyl isothiazolin-3-ones
- Bactericide and algacide
- wide range of pH
- Inhibiting microbial respiration and food transport through the cell wall.
- Contact time is typically 5 to 6 hours.
- Dose rate is typically **50 to 120 ppm**

Quats (ADBACs)

- Alkyl dimethyl benzyl ammonium chlorides "Quaternary ammonium compounds".
- The kill mechanism is due to the cationic nature, whereby an electrostatic bond is formed with the cell wall, which affects permeability and protein denaturing.
- Optimum pH 6.5-8.5
- Deactivated by high hardness (typically over 500 ppm).
- dose rate 50 to 100 ppm
- Contact time is typically 4 to 6 hours.

المهندس صُهيب محمود شعبان:

توجد الكائنات العضوية الحية كالتحالب (Algae) والبكتيريا والفطريات (bacteria and fungi) والكائنات نباتية بكميات متفاوتة ونوعيات مختلفة في جميع مصادر المياه الطبيعية ... ونتيجة لتعرضها للهواء الجوي فإنها تنمو وتؤدي إلى تقليل كفاءة أبراج التبريد كنتيجة لنمو الطحالب والفطريات على الجدران مما يتعارض مع توزيع المياه ... يلزم لنمو الطحالب توافر غاز ثاني أكسيد الكربون الذائب في الماء وكذلك ضوء الشمس وتنشيط الطحالب عادة في أبراج التبريد والمبردات والمرشحات المفتوحة والخزانات.

وتنمو الطحالب عادة في اتجاهات طويلة منبسطة ولذا فإن التخلص منها في داخل المواسير بعد نموها قد يسبب حاجزاً لتدفق المياه ... لذا يجب مقاومتها قبل دخولها إلى المواسير ... ينتج عن نمو الطحالب والرواسب الرخوة في باطن خزانات المياه وأحواض الترسيب أخطار جسمية على المرشحات والمضخات ... كذلك تحول بكتيريا أكسدة الكبريت (عنصر الكبريت) الذي يتواجد في المياه الطبيعية إلى حامض الكبريتيك ... أي يُعتبر من أسباب تآكل أبراج التبريد.

ولكن وجود بكتيريا النتريفة (nitrifying bacteria) يفيد في أكسدة الشوائب الأمونيومية وتحويلها إلى نترات والتي بدورها تساعد على عمليات الهدم للمواد العضوية التي تدخل إلى دوائر المياه مع مياه التعويض حيث تمتد هذه العمليات بالأكسجين اللازم للهدم والأكسدة ... ويمكن منع نمو الطحالب وذلك بمنع الضوء من الدخول بالإضافة إلى حقن مياه بكميات منتظمة من الكلور ... ويستفيد جزء كبير من الكلور المحقون في المياه في تنفيذ العمل الذي ينتج عنه التخلص من الأمونيا والمواد العضوية وفي حالة تواجد بكتيريا اختزال الكبريتات أو في حالة انسداد فوهات التريذ (Spray-nozzles) أو تغطيتها بالطحالب فإنه يجب زيادة جرعات الكلور المحقون في مصدر المياه .

المهندس أحمد أحمد ماضي:

في حالة استخدام برنامج all organic program أو ال organic phosphate يكون متاح ارتفاع قيمة ال pH الخاصة بمياه البرج إلى 9 ... في هذه الحالة ال chlorine لن يكون له تأثير في هذا الوسط القلوي ... وبالتالي يتم استخدام non oxidizing biocides مثل ال Quat أو ال Isothiazoline أو Carbamates لو كان ولا بد من استخدام oxidizing biocide ... في هذه الحالة يتم استخدام ال bromine وإضافته الكلورين بنسبة 0.25 إلى 1 كمادة فعالة والانتظار ٣٠ دقيقة ... ويتم إضافته كجرعة مفاجأة على مياه برج التبريد.

Non oxidizing biocides: Dose 50 to 200 ppm according to HTI - Holding Time Index.

سؤال لمتدرب:

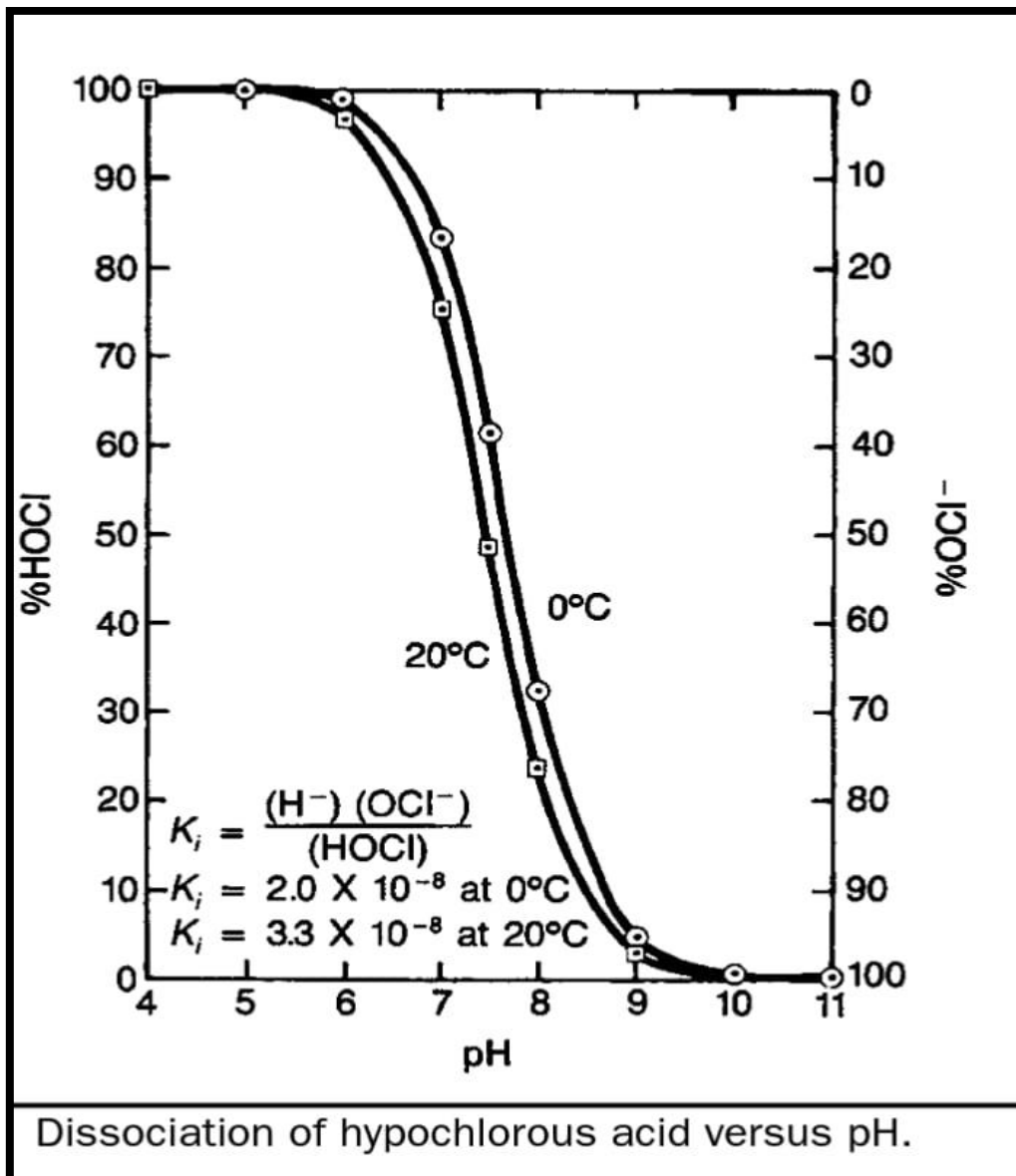
الكلور يحتاج pH منخفضة حتى يكون أكثر فاعلية ولا العكس وهل مع درجة الحرارة المرتفعة تزيد فاعلية الكلور أم تقل؟

رد المهندس أحمد مدحت عبد المعطي:

نعم يحتاج بي إتش منخفضة وهو أساساً يُنزل البي إتش لأنه يتفكك لهيبوكلوريك أسيد. وغالباً معظم مياه التبريد بتعمل على بي إتش أعلى من 7.2 ومع ذلك الكلور يبقى أعلى فاعلية.

رد الدكتور إيهاب علي بيومي:

تزداد فاعلية الكلور في التعقيم عند pH أقل من 7.2 وتقل كفاءته إذا زاد ال pH عن 7.6 وفي هذه الحالة تحتاج لكمية أكبر من الكلور لضمان فاعلية التعقيم.

رد المهندس حمدي السيد محمد:

من المنحنى السابق يتبين لنا أن مع ارتفاع قيمة ال pH تقل فاعلية الكلور كمادة معقمة أو Oxidizing Biocide بداخل أبراج التبريد ولذلك يُفضل أن يكون حدود pH من ٦,٥ إلى ٨,٥ للحصول على أفضل النتائج من حيث أولاً: زمن الاستبقاء داخل البرج ثانياً: الفاعلية ... أما بخصوص تأثير درجة الحرارة فكلما ارتفعت درجة الحرارة كلما قل تأثير الهيبو ... لأنه مع ارتفاع درجة الحرارة يزيد معدل البخر.

كلما زادت ال pH تقل فاعلية الكلور ... وعند أكثر من pH 8.5 فإن فاعلية الكلور ١٠ % وبالنسبة للبايوسيد غير المؤكسد:

Sure each non Oxidizing biocide have its own character with pH, but most of non Oxidizing biocides for organic chemicals and most reference not indicate the effect of pH, but for example:

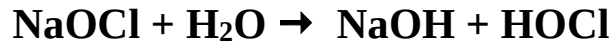
Biocide	Mechanism	Advantages	Disadvantages
Isothiazoline	Penetrates cell membrane to deactivate enzymes needed for cell to survive	Effective on both bacteria and fungi, persistent in system, synergism with oxidizers, activity over wide pH range	Inactivated by sulfide contamination, concentrated isothiazoline is a skin sensitizer
Glutaraldehyde	Crosslinking of two adjacent amino groups in cell wall proteins impairs cell function	Very effective in normal pH range of cooling water systems	Reacts with halogens, ammonia, and organic amines (but not quaternary amines), should not be applied in systems with these contaminants or with oxidizing biocides
2,2-dibromo-3-nitrilo propionamide (DBNPA)	Reacts with cellular membranes and enzymes, causing disruption of cell metabolism	Fast acting against bacteria	Lack of persistence, rapid hydrolysis at high pH (Fig. 21.19), high cost relative to other biocides, less effective for algae and fungi
Quaternary ammonium compounds (Quats)	Binds anionic components of cells and cell walls	Generally effective against bacteria, fungi, and algae, have surface-active dispersing properties	Can cause foaming and can inactivate anionic polymer dispersants

تعقيب المهندس محمد عبد المقصود سُنبل:

الكلور الغاز يُخَفِّض ال pH لتكوّن هيبوكلوراس أسيد أما الكلور السائل يرفع ال pH لتكون صودا كاوية أو بوتاسا كاوية ويتفكك لهيبوكلوروس أسيد Hypochlorous acid (HOCl)



:Sodium hypochlorite



طبعاً تأثير الصودا أقوى بكثير من تأثير الهيبوكلوراس أسيد علي ال pH.

ومرة أخرى نتذكر في النهاية ... الفاصل النهائي في تحديد الجرعة المناسبة من البايوسيد هو العد البكتيري ... فلا بد من متابعته معملياً لنعرف موقع أقدامنا ... فلا نقلل البايوسيد عن الجرعة المناسبة ولا نزيدها!



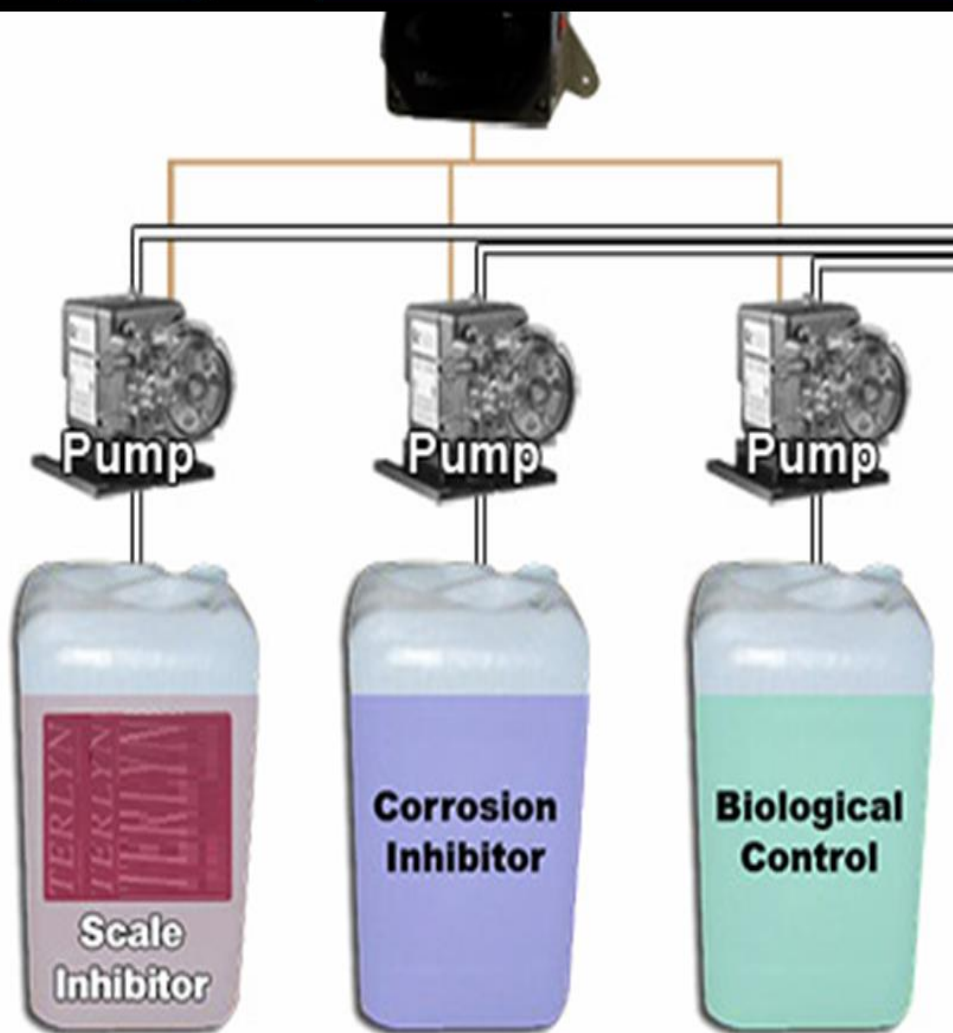
WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

25

مراقبة

أنظمة التبريد



النقاش الخامس والعشرون:-**25- مراقبة أنظمة التبريد وكيفية حساب الجرعات الكيماوية!**

بعد وضع بروتوكول المعالجة والبدء فى تنفيذه ... يخطئ من يظن أن الأمور ستسير على ما يُرام عشرات السنين ... نحن نتعامل مع مياه متغيرة وظروف غير ثابتة فى الدائرة وخلل في وسائل القياس والتحكم وأخطاء بشرية قد تؤدي إلى كوارث ... لذا كانت المراقبة **monitoring** والمتابعة للنظام في منتهى الأهمية ... يجب متابعة الأجهزة والمعدات ... كما أن مبدأ المحاولة والخطأ **try and error** كما قلنا في العلاج الكيماوي لا يزال تحت التنفيذ فيجب متابعة معدل حقن الكيماويات **chemical dosing** ... هناك بعض القياسات فى الحقل **Online monitoring** وأجهزة **sensor** تعطي انذارات وقت حدوث الحوادث ... هذا بجانب القياسات العملية ستتم بصورة دورية حتى نكتشف أى حيود عن النظام الذي يحافظ عليه البروتوكول الذي وضعناه ...

هنا سنتحدث عن مراقبة التآكل ... مراقبة تكون القشور ... مراقبة النمو البيولوجي ... بعض القياسات الحقلية والعملية التي تتم ... وكيفية حساب الجرعات الكيماوية مع الدوائر المفتوحة والمغلقة.

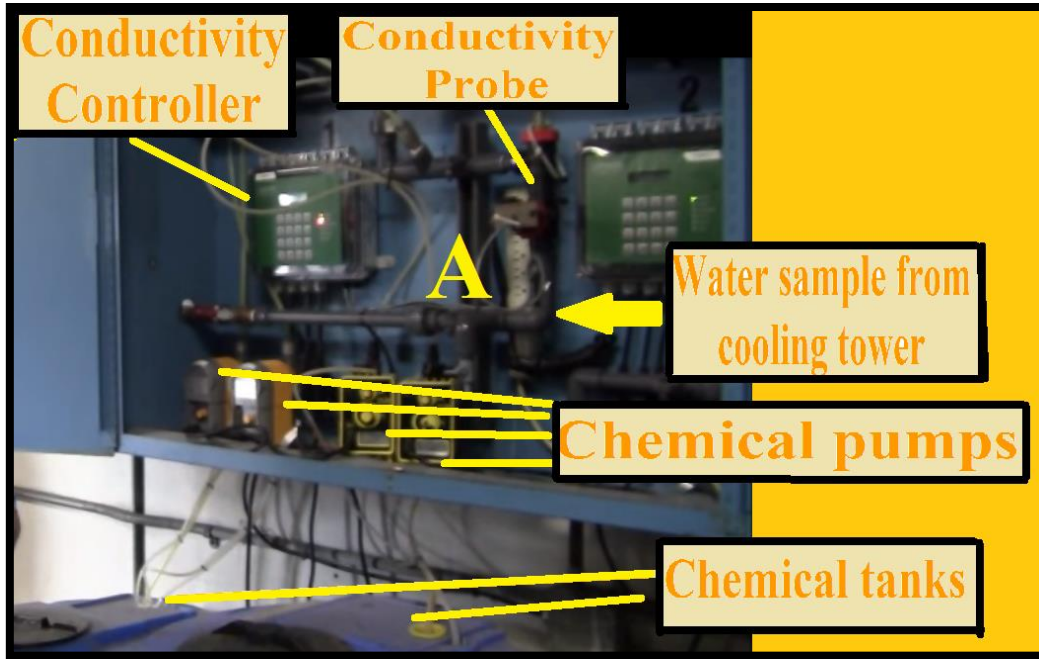
مكان أخذ العينات لتحليلها:

يتم أخذ العينات بصورة عامة من:

- 1- مياه التغذية **Make-up** قبل إضافة أى مواد كيميائية أو في مراحل المعالجة الأولية.
- 2- دائرة التبريد سواء أقبّل البرج أو بعده أو من داخله تبعاً لرغبتنا في الكشف عن بارمتر معين.
- 3- المياه الخارجة من منظومة البرج وهى مياه التفوير في المعتاد.

شاهد الصورة التالية وأقرأ التعليقات ... الصورة عبارة عن لوحة تحكم تتضمن:

- 1- خط دخول عينة المياه القادمة من برج التبريد **Sample stream from CT**.
- 2- قياس التوصيلية من خلال البروبة **Probe** الخاصة بجهاز قياس التوصيلية الأونلاين في النقطة **A**.
- 3- جهاز التحكم في التوصيلية **Conductivity controller** الذي يعطي أوامره بعد قياس التوصيلية وظهورها على الشاشة **display readout** بعمل التفوير وحقن الكيماويات.
- 4- مجموعة من طلبات الحقن **Dosing pumps** تضخ الكيماويات في الخط الراجع للمياه إلى دائرة التبريد ومتصلة بتنكات الكيماويات ... والجرعات ينظمها ال **Controller** بناء على **timer** تبعاً لبرنامج المعالجة الذي زودناه به.



القياسات بالأجهزة المعملية المعتادة والأونلاين أو بالتجارب المعتمدة تتضمن ما يلي:

- 1- درجة الحرارة قبل البرج وبعد البرج (تذكر لماذا؟).
- 2- الأس الهيدروجيني pH.
- 3- التوصيلية الكهربائية Electrical conductivity والTDS.
- 4- العُسر الكلي Total Hardness وُعسر الكالسيوم Calcium hardness ... وهو أهم من العُسر الكلي نظراً لخطر ترسيبه الأكثر احتمالاً.
- 5- القلوية Alkalinity (P-Alkalinity & M-Alkalinity) وما تتضمنه من كربونات وبيكربونات وهيدروكسيد.
- 6- العكارة Turbidity.
- 7- المواد الصلبة المُعلقة TSS.
- 8- تعيين الحديد.
- 9- تعيين الكلورايد.
- 10- تعيين السيليكا.
- 11- تعيين السلفايد (الكبريتيت Sulphite) والسلفات (الكبريتات Sulphate).
- 12- تعيين الأمونيا Ammonia.
- 13- تعيين بعض العناصر مثل الحديد والنحاس والصوديوم والمنجنيز والنيكل والكاديوم والرصاص والكروم والزنك والكوبلت إذا تتطلب الأمر.

- 14- تعيين المواد الكيميائية المضافة (مضاد التآكل ومضاد الترسيب وغيرها) أو بمعنى أصح المتبقى منها مثل الفوسفات والفوسفونات والزنك والنيتريت والتانين والأزول والموليبدات والكلورين الحر ... إلخ.
- 15- تعيين الأوكسجين الذائب والCOD والBOD لمتابعة تركيز المواد العضوية (وقد يتم الاتسغناء عن هذا النوع من القياسات).
- 16- تعيين ثاني أوكسيد الكربون الذائب في الماء.
- 17- تعيين الTOC أو مجموع الكربون العضوي الكلي.
- 18- تعيين الOil and grease.
- 19- حساب الLSI أو الRSI.
- 20- تعيين تركيز حمض الكبريتيك المضاف.
- 21- قياس معدل التآكل باختبارات أهمها الكوبون الشهير والخاص بمراقبة التآكل ومراقبة الترسيبات والمعمول به حتى الآن وهو ما فصله في النقاش القادم بإذن الله.
- 22- مراقبة النمو البيولوجي (Biological growth (Bio-monitoring):
يتم ذلك عن طريق العد البكتيري الكلي (Total Bacterial count (TBC في المعمل ... وباختصار يتم استخدام أى طريقة معتمدة من تكتيك "المزرعة" Culturing techniques حيث يتم إضافة ميديا مغذية في طبق (Dish) وجلب عينة من المياه ... لو ظهر فيها بكتيريا بعد فترة فمعناها أن دائرة التبريد بها بكتيريا والعكس صحيح.
(في الشيلرات أو الدوائر المغلقة لا ينمو فيها طحالب خضراء لبعدها عن ضوء النهار بعكس الدوائر المفتوحة).
- هناك طرق متعددة معتمدة لقياس النمو البكتيري مثل الDipslides والPetriFilm وال-ATP based ... والمتخصصين في التحليل الميكروبيولوجي يُفيدونا أكثر من خبراتهم.

المهندس نادر النجار:

يتم استخدام الdip slides وذلك لقياس العد البكتيري في أبراج التبريد:



ويتم جلب عينات المياه لقياس النمو البكتيري من عدة أماكن:

- 1- الجسم المائي Bulk water كمياء التعويض والمياه الساخنة والمياه الخارجة من برج التبريد بالقاع أو من مكان المبادل الحراري.
 - 2- عينات من الأسطح (جدران برج التبريد أو أسطح الحشو أو سطح الحوض السفلي Cold basin ... أو سطح التوزيع بالبرج Distribution deck ... إلخ).
- وهذا هو القيم المطلوبة للعد البكتيري في دائرة التبريد (في الوسط المائي وعلى السطح وعلى القاع) ... وكلمة الNA بالجدول يعني أن المواصفة غير متاحة Not available.

Recommended Target Values Routine Treatment of Cooling Water Systems

Parameter	Dipslides	Agar Pour Plate or Petrifilm	Microscopic Exam
Planktonic Counts (Bulk Water)	<10,000 CFU/mL	<10,000 CFU/mL	No higher life forms
Sessile Counts (Surfaces)	<100,000 CFU/cm ²	<100,000 CFU/cm ²	No higher life forms
Deposits	NA	NA	No higher life forms

Note: Results from dipslides, agar pour plates, or Petrifilm are colony forming units (CFU per milliliter or per square centimeter) of total aerobic heterotrophic bacteria. Legionella bacteria are not detected by these conventional plate count media. Microscopic examination for the presence of higher life forms requires a trained microscopist and specialized microscopy equipment.

ونأخذ في الاعتبار أن العد البكتيري في الوسط المائي =5% فقط ... أما الباقي يعيش على الأسطح والجدران 95% وقد تحدثنا في ذلك من قبل.

وهذه صورة لمزرعة بكتيرية من مياه برج التبريد من خلال ميديا الأجار:



برامج تقوم بعمل المراقبة!

بعض برامج السوفت وير software تقوم بعمل مراقبة monitoring للنظام وتضبط عدة بارمترات (كمانع التآكل مثلاً) وتنقلها عبر شبكة أونلاين للكونترول أو المديرين ... مثل برنامج ترازار (3D Trazar) وبرنامج True sense (الذي يقيس حتى البولييمر العضوي والفوسفات الغير ذائب) وغيرها من البرامج ال software.

وهناك أجهزة تقيس كل شئ في أبراج التبريد من حرارة و pH و ORP وتركيز الكيماويات المضافة في البرج ويعطي أوامر بإضافة الكيماويات تبعاً للتركيزات المطلوبة.

بعد المراقبة والقياس ... ماذا تفعل لو كانت القياسات التالية غير مرغوب فيه؟؟؟

- 1- ارتفاع أو انخفاض التوصيلية أو الأملاح الكلية الذائبة عن الحد المطلوب:
بالتأكيد هناك خلل في التحكم في دورات التركيز نتيجة لخطأ في كمية التفوير (زيادة أو نقصان) وربما يكون هناك تسريب Leakage من الدائرة أدت إلى زيادة ال make-up فانخفض تركيز الأملاح ولا بد هنا من الكشف عن مكان التسريب واصلاحه.
- 2- ارتفاع عسر الكالسيوم:

- تأتي الزيادة في تركيز الكالسيوم من سببين ... السبب الأول هو زيادة دورات التركيز وحلها هو زيادة معدل التفوير والسبب الثاني هو ارتفاع تركيز الكالسيوم في مياه التعويض وحلها استخدام مياه soft أو خلط مياه التعويض بـ soft water.
- 3- ارتفاع أو انخفاض القلوية:
والسبب هو عدم التحكم في الـ pH بالدرجة الأولى.
- 4- ارتفاع استهلاك الحمض المستخدم في الـ pH:
يرجع ذلك لعدة أسباب ... منها عدم انتظام مضخة حقن الحامض لخلل بها فيجب فحصها ... أو يرجع إلى زيادة الـ pH في الدائرة نتيجة لزيادة دورات التركيز عن الحد المسموح به... أو يرجع لزيادة مفاجئة في القلوية في مياه التعويض ... وبالتالي يجب زيادة معدل التفوير أو قد يكون نتيجة لتلوث ما بالدائرة أدى إلى ارتفاع في الـ pH.
- 5- ارتفاع الحمل الحراري Heat loading على الدائرة:
ارتفاع الحرارة يزيد احتمالية زيادة الكربونات وترسبها وبالتالي زيادة الـ pH وبالتالي يزيد استهلاك الحامض.
- 6- ارتفاع نسبة الحديد أو النحاس الذي يدل على حدوث تآكل:
مراجعة بروتوكول المعالجة لمقاومة التآكل ... فمثلاً النحاس يجب أن يكون منعماً أو نفس نسبة تركيزه في المياه الخام ... فإن زادت نسبته نبحث أسباب حدوث التآكل من حيث مثلاً تغيير الجرعة المضافة من الأزول Azole ... أو ... أو ...

وهذه باقة من المناقشات حول التشغيل والمراقبة:

سؤال أحد المتدربين:

ماهو سبب ارتفاع درجة حرارة مضخات أبراج التبريد cooling system؟

رد المهندس محمد جابر محمد جاهين:

لو بلف الطرد مُغلق ... أو خطوط دخول أو خروج المكثفات مُغلقة.

رد المهندس سعيد جمعة سعيد:

لو المضخات علي ال common header فقد يكون بسبب water balancing.

سؤال أحد المتدربين:

ماهو أفضل مكان نأخذ منه العينة للتحليل المعمل بالنسبة لأبراج التبريد سواء النظام المفتوح أو

المغلق ... هل يتم الأخذ من ال drain؟؟

رد المهندس سمير أديب:

تأخذها من الدخول والخروج وليس من الدرين ... ويتم عمل مأخذ مخصوص للعينة.

سؤال أحد المتدربين:

مادة الصوديوم هايبيكلورايت تكون ملح عند الترسيب؟؟!! لأنني وجدت على طرد طلبية الحقن رواسب

ملح بيضاء ولا أعرف ما السبب؟؟!!

رد الدكتور أحمد أنور أحمد:

توجد نسبة عالية من الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم) في الصوديوم هيبوكلوريت ... وفي حالة تسريب المادة من أي مكان على خط السحب أو الطرد تنشف المادة والمتبقى يكون على شكل راسب أبيض من هيدروكسيد الصوديوم ... وهذا ليس تفاعلاً ولكنه طبيعة فيزيائية للمادة السائلة ... عندما تحضر هيدروكسيد الصوديوم وتمكث معك فترة طويلة وتأتي لها وتفتح العبوة تجد ترسب المادة على الغطاء.

وطريقة تصنيع الهيبوكلورايت تكون بإمرار غاز الكلور على الصودا الكاوية السائلة ... يعنى المادة أصلها كانت صودا كاوية (هيدروكسيد صوديوم) ودخل عليها غاز الكلور وحولها لصورة أخرى أو مركب آخر اسمه هيبوكلورايت الصوديوم وتكون نسبة المادة في المحلول تقريباً 10 - 12% ... يعنى أغلب المادة صودا كاوية ... اترك المادة لفترة في الجو العادى ومع تطاير الكلور تزيد نسبة الصودا وتقل نسبة الهيبو في المحلول.

وحول مراقبة وحساب معامل ال LSI ومعامل ال RSI دار الحديث التالي:

سؤال أحد المتدربين:

هو الأفضل حساب LSI أم RSI في أبراج التبريد؟ و حساب ال temperature في المعادلات هي

درجة حرارة المياه وقت إجراء التحاليل أم درجة حرارة ال outlet cooling towers؟

رد الدكتور أحمد أنور أحمد:

هذه اجتهادات ... وعموماً يوجد أكثر من معامل تشبع غير ال RSI و LSI والتفاصيل فيها كثيرة جداً ... فالأفضل أن تأخذ بما هو متواجد أمامك وتعمل به ...

الحكاية من أولها إن الأملاح التي تترسب هي عكس باقى الأملاح التى يزيد ذوبانها كلما زادت الحرارة ... يعنى خالف تعرف لذلك نعمل لها ألف حساب عندما نعمل على معالجة أبراج التبريد وكذلك الإخوة العاملين فى ال RO.

وجدنا بعض العلماء قد بحثوا فى العلاقة بين مدى تكون هذه الترسيبات وعلاقتها ببعض عوامل موجودة فى المياه ... مثلاً الحرارة والقلوية وال pH والأملاح الكلية الذائبة.

أي درجة حرارة يحصل عندها ترسيب؟؟ ... فى الحقيقة لو أخذنا عدة قياسات لدرجة حرارة مقطع من المياه داخل الماسورة مثلاً سنجد عدداً كبيراً من درجات الحرارة فى مكان واحد ... ما معنى هذا الكلام؟... نأخذ مثال على سخان الشاى الذى نطلق عليه خطأ كلمة (البراد) لو وضعنا بعض المياه فيه ووضعناه على البوتوجاز وأشعلنا النار ... بعد لحظات سنجد المياه سوف تسخن ... لو معك ترمومتر أو أى مقياس حرارة وقمت بقياس مجموعة من النقاط داخل هذا السخان ... درجة حرارة السطح الملامس للهواء ... درجة حرارة المياه فى المنتصف ... درجة حرارة المياه الملامسة للمعدن ... وهكذا عندنا 3 درجات حرارة ... هل الثلاثة لهم نفس القيمة ؟ بالطبع لا ... طيب أى مكان فيهم ممكن يحصل عليه ترسيب للأملاح؟ أكيد طبعاً المكان الأسخن الذى هو السطح بين المياه وجسم السخان ... لذلك هذه هي درجة الحرارة التى نضعها فى المعادلة حتى نحسب مدى تكون الأملاح على هذا السطح.

تعقيب المهندس أيمن عوني عيد:

الاثنان يُعرفانك سلوك المياه.

استفسار متدرب تعقيباً على هذه المناقشة:

وفي حالة أبراج التبريد ... كيف نأخذ درجة حرارة السطح وهي مجهولة بالنسبة لي؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

عينة مياه التعويض تقيس فيها درجة الحرارة وكذلك باقى التحاليل عسر الكالسيوم - القلوية - الأملاح الكلية - pH حتى نعرف سلوك المياه

رد الدكتور أحمد أنور أحمد:

بعض الدوائر فى بعض الشركات الكبيرة التى تهتم بكل كبيرة وصغيرة فى معالجة أبراج التبريد يكون عندها حساسات حرارة على سطح المبادل الحراري حتى تقيس أقرب درجة حرارة مُمكنة للسطح ... وإن كانت فى الأغلب ليست درجة الحرارة الفعلية ... لكن ماذا نفعل؟ أنا شخصياً حتى أحسب هذه الدرجة Skin Temperature نقيس درجة حرارة المياه المارة على هذا السطح ونزيد حسابياً ما بين 5 إلى 10 درجات سيليزية ... وتبقى تقديرية ...

لماذا تبقى تقديرية؟ لأن هذه الحرارة تعتمد على أكثر من معامل داخل فى تكوينها ... مثل ماذا؟ مثل كمية أو معدل السريان لأن درجة الحرارة تتناسب مع كمية المياه المستخدمة فى التبريد ... ودرجة حرارة الجهة المقابلة للماء (التي هى الناحية الثانية المُراد تبريدها) لأنها كلما زادت تزيد حرارة سطح المبادل

ناحيته وبالتالي الحرارة تسرى داخل المعدن وتصل الناحية الثانية المعرضة للماء .. أيضاً سمك الماسورة أو المبادل الحراري ونوع معدنه لأن كل معدن له سعة حرارية.
(عند حساب درجة الحرارة في المعادلات وقت إجراء التحليل تأخذ قيمة حرارة السطح من ناحية الماء وليس حرارة الداخل inlet ولا الخارج outlet).

وعن الصيانة الدورية يتحدث المهندس محمود عبد العزيز رزق :

ويتم عمل صيانة دورية لهذه الأجزاء كلاً على حده على النحو التالي:

الصيانة الدورية:

الصيانة الشهرية :

فحص الاجزاء الميكانيكية:

(1) إذا كانت مراوح البرج من النوع الذي يدار عن طريق أقشطه ، يُفحص ويضبط شد القشط حسب الحاجة.

(2) متابعة أداء محرك المروحة ومتابعة قراءات الأمبير له.

(3) يجب المحافظة على جميع مرابط البرج بحيث تكون مثبتة بشكل جيد.

(4) يلزم فحص بلف العوامة ويضبط حسب الحاجة.

7- الصيانة السنوية:

(5) يجب رفع الأوساخ والرواسب الموجودة بالأحواض ومصافي المليء والسحب

(6) يجب كشط وتنظيف ودهان جميع الأسطح المعدنية الخارجية التي يكون قد حدث بها قشور على الأقل مرة كل عام باستعمال دهان بطانة جيد (PRIMER) ثم يُغطى السطح الخارجي للبرج بدهان مقاوم للصدأ.

(7) يجب فحص الجزء الداخلي من البرج ، وإصلاح أي تلف بمواد الحشو أو أجزاء الحوض ، وإذا كان من الضروري رفع الحشو ، فإنه يجب تركيب الحشو الجديد في المكان الأصلي حتى نحصل على توزيع ماء منتظم .

(8) يجب تنظيم ريش المروحة وأن تدهن إذا لزم الأمر.

(9) إذا كان من الضروري معالجة الماء كيميائياً لمنع تكون الأوساخ في دائرة برج التبريد ، فإنه يلزم استشارة أخصائي في معالجة الماء.

(10) يجب منع نمو العفن داخل برج التبريد الذي يعمل على تخفيض انتقال الحرارة ويسد الدائرة ، وتستعمل لذلك مادة (بنثا كلوروفينوليت الصوديوم) التي لها فعالية قوية لقتل مسببات هذا العفن.

وللحصول على أداء جيد لبرج التبريد يجب معالجة المياه من :

أ- القشور (Scales) :

تنشأ القشور نتيجة ترسب المواد الصلبة غير المذابة في المياه على الأسطح الخارجية للأنايب، العلاج الوحيد لمنع تكون القشور هو تصفية المياه (Blow down)، وبالتالي المحافظة على

نسبة تركيز مقبولة للمواد الصلبة في المياه الجارية .

ب- الصدأ (Corrosion) :

ينشأ الصدأ نتيجة تحلل المعادن بالتفاعلات الكيميائية بين الهواء والمعادن الصلبة في المياه الجارية، العلاج الوحيد للصدأ هو التحكم في قيمة أس الهيدروجين (pH) وجعله أكبر من العدد (7) وبالتالي تصبح المياه الجارية غير حمضية يتم التحكم بإضافة مواد كيميائية مثل (الكرومات - البولي فوسفات - النيترات) للمياه الجارية .

ج- النمو العضوي (Organic growth):

تغطي الطحالب (Algae) والفطريات (Fungi) الأسطح المبتلة وتتلف الحشو وبالتالي تنخفض السعة التبريدية للبرج، ولعلاج ذلك يتم إضافة مواد كيميائية مثل الكلور للمياه الجارية.

د - الأتربة (Dirt) :

مصدر الأتربة هو الهواء المحيط ببرج التبريد ... تتجمع الأتربة في قاع البرج على هيئة طين (Silt) ، العلاج الوحيد للأتربة هو وضع فلتر على مداخل الهواء والتنظيف الميكانيكي لقاع برج التبريد .

بالنسبة للقياسات المعملية:

كيف يتم قياس الزنك؟؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

بالتيست كيت Test kits عادي.

رد المهندس محمد صبحي الخطيب:

Atomic absorption

رد المهندس محمود هاشم محمود سليمان:

AAS (Atomic absorption spectroscopy)

رد المهندس محمد بركات:

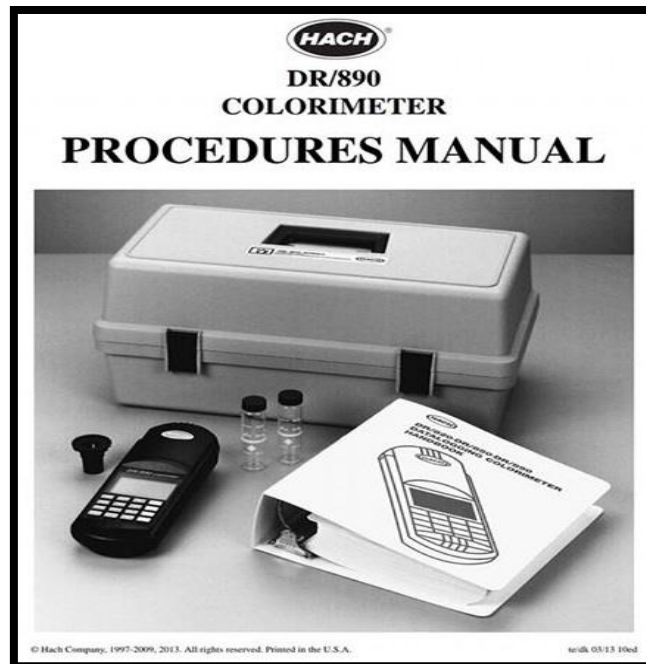
ICP OES/or MS

رد المهندس ياسر أحمد المحمد:

Spectrophotometer like DR 6000.

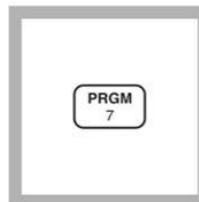
رد المهندس سامر نادر الأسدي:

استخدام جهاز (HACH DR890):

**ZINC (0 to 3.00 mg/L Zn)**

Method 8009
For water and wastewater

Zincon Method* USEPA approved for wastewater analysis** (digestion needed; see Section 2)



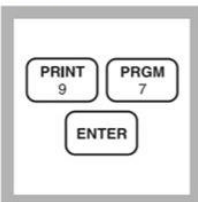
1. Enter the stored program number for zinc (Zn).

Press: **PRGM**

The display will show:

PRGM ?

Note: For most accurate results, perform a Reagent Blank Correction using deionized water (see Section 1).



2. Press: **97 ENTER**

The display will show **mg/L, Zn** and the **ZERO** icon.

Note: Total zinc requires a prior digestion; use either the Digesdahl or mild digestion (Section 2).

Note: Adjust the sample to pH 4-5; see Sampling and Storage following these steps.



3. Fill a 25-mL sample cell with 20 mL of sample.

Note: Rinse glassware with 1:1 hydrochloric acid and deionized water before use.

Note: If samples cannot be analyzed immediately, see Sampling and Storage.



4. Add the contents of one ZinconVer 5 Reagent Powder Pillow. Cap. Invert several times to completely dissolve the powder. If the sample does not turn orange, see the note below.

Note: Powder must be completely dissolved or inconsistent results may occur.

Note: The sample should be orange. If it is brown or blue, dilute the sample and repeat the test. Either the zinc concentration is too high or an interference is present.

Caution: ZinconVer 5 contains cyanide and is very poisonous if taken internally or inhaled. Do not add to an acidic sample. Store away from water and acids.

ZINC, continued



5. Measure 10 mL of the orange solution into another sample cell (the blank).



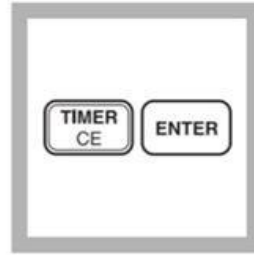
6. Add 0.5 mL of cyclohexanone to the remaining orange solution in the first sample cell (the prepared sample).

Note: Use a plastic squeezer. Rubber bulbs may contaminate the cyclohexanone.



7. Tightly cap the cell. Shake vigorously for 30 seconds (the prepared sample).

Note: The sample will be red-orange, brown or blue, depending on the zinc concentration.



8. Press:

TIMER ENTER

A 3-minute reaction period will begin.

Note: Steps 9-11 must be completed within 10 minutes after the timer beeps.



9. Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



10. Press: **ZERO**

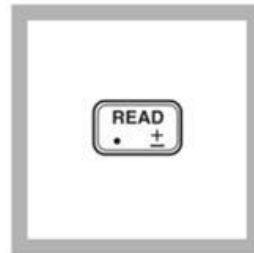
The cursor will move to the right, then the display will show:

0.00 mg/L Zn

Note: If Reagent Blank Correction is on, the display may flash "limit". See Section 1.



11. Immediately place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



12. Press: **READ**

The cursor will move to the right, then the result in mg/L Zn will be displayed.

Note: Standard Adjust may be performed using a prepared 0.50 mg/L standard. See Section 1.

ملحوظة للمهندس عبد الجابر صلاح لهلوب:

ضبط الحموضة لأن بارتفاع شوارد الهيدوكسيل OH في الوسط المائي تتفاعل شوارد الزنك معها بدلاً من تفاعلها على سطح المعدن وتشكل ما يسمى برست ووتر rust water (الصدأ الأبيض).

سؤال متدرب:

لماذا نفحص الزنك في مياه أبراج التبريد؟

رد المُحاضر:

يجب أن لا يزيد أو يقل عن حد معين كمانع تآكل تبعاً لتوصيات شركة المعالجة ... بجانب أن له حد أقصى يجب أن لا يتعداه في صرف البرج لضرره على البيئة.

كيف يتم قياس الفوسفونات في دوائر التبريد؟ وما أشهر الأجهزة التي تستخدمه؟**المهندس محمد عادل:**

عن طريق ال Digestion ... حيث يتم إضافة حمض كبريتيك و بيرسلفات مع التسخين وتكملة بمياه مقطرة والقياس بالطيف اللوني.

المهندس ياسر خميس عسكر:

الطريقة الأولى ... هي الهضم Digestion بالتسخين وباستخدام Per-Sulfate والإستعانة بحامض الكبريتيك وهيدروكسيد الصوديوم وذلك لضبط ال pH ... تعطي هذه الطريقة مجموع الفوسفات الكلي ولكي يتم احتساب الفوسفات العضوي لابد من احتساب Phosphate منفصلاً. بالنسبة لأشهر وأدق الأجهزة ... طبعاً Hach ... أما كيفية قياس الفوسفونات مباشرة يكون عن طريق الهضم باستخدام Per sulfate و Ultraviolet lamp ... أما كيفية منع تداخل الفوسفات ... بالفعل يتم احتساب الفوسفات orthophosphate مسبقاً قبل احتساب الفوسفونات ... ويتم ذلك خلال الجهاز ... لكن يعيب هذه الطريقة شرط معرفة أنواع الفوسفونات المراد تحليلها مثال HEDP أو BPTC ... إلخ وذلك لتحويل قراءة الجهاز لنوع الفوسفونات المراد قياسه.

تعقيب المُحاضر:

بالنسبة للطريقة الثانية فيتم عمل "هضم" Digestion للفوسفونات ... حيث يتم تحويلها إلى أورثوفوسفات غير عضوي باستخدام kits تحتوي على potassium per-sulfate مع استخدام لمبة أشعة فوق بنفسجية UV نعرضها للعينة لمدة عشر دقائق تقريباً ... ثم يتم تحليل الأورثوفوسفات الناتج ب reagent ثم استخدام colorimeter.

المهندس نور على محمد:

نستخدم Plaintest method بإضافة reagents وعمل معايرة حتى يتغير اللون من أخضر إلى purple.

تعقيب المُحاضر:

هذا هو أحد الاختبارات الخاصة بالفوسفونات العضوي:

Palintest

TAB.12.

ORGANO- PHOSPHONATE

Micro Titration Method

TEST FOR ORGANOPHOSPHONATE IN COOLING WATER

0 – 20 mg/l

The use of organophosphonate compounds as inhibitors in cooling systems has become widespread in recent years. It is essential to monitor the active organophosphonate content of the cooling water to ensure the treatment is fully effective.

The Palintest Organophosphonate test provides a simple means of monitoring organophosphonate levels over the range 0 - 20 mg/l. The test has been developed for use with commercially available organophosphonate products based on amino trimethyl phosphonic acid and hydroxyethane diphosphonic acid-the two compounds most commonly used in these formulations.

Method

Organophosphonates can be titrated with thorium nitrate under acid conditions using xylenol orange as indicator. Ordinarily this test suffers from a number of disadvantages, particularly the poor colour change at the end point and the very precise pH conditions which need to be established. The latter often requires a separate pH titration to be carried out as a forerunner to the main test.

These problems have been eliminated in the Palintest Organophosphonate test which uses a special combined buffer-indicator tablet in conjunction with standard thorium nitrate solution. The tablet contains a screened xylenol orange indicator together with a buffer mixture which provides the correct conditions for the test. This tablet eliminates the tedious pH correction procedure and ensures an improved green to purple end point colour change. A dechlorinating agent has been incorporated so that the test can be used on systems also being treated with chlorine compounds.

Low levels of organophosphonate compounds are used and it is essential that these can be accurately determined under plant conditions. This is achieved by using standard thorium nitrate solution in conjunction with a direct-reading titrator - a microburette directly calibrated in terms of organophosphonate concentration. The titrator can be read to a precision of 0.4 mg/l.

Reagents and Equipment

Palintest Organophosphonate No 1 Tablets

Palintest Organophosphonate No 2 Solution

Palintest Titrator Tube, 10 ml (PT 648)

Palintest Direct-Reading Titrator, 0 - 20 mg/l (PT 378)

Method

- 1 Take a sample of the water under test in the Palintest titrator tube, filling to the 10 ml mark.
- 2 Add one Organophosphonate No 1 Tablet, crush and mix to dissolve.
- 3 Fit the plastic tip to the end of the titrator then submerge the tip in the Organophosphonate No 2 solution. Pull the plunger to fill the syringe.
- 4 Remove any air bubbles trapped in the titrator by inverting it and tapping the barrel until the air bubbles move up to the tip. Expel the air by tipping the syringe back to horizontal and depressing the plunger slightly. Note – it is advisable to do this over a sink or suitable waste receptacle.
- 5 If required, submerge the tip in the Organophosphonate No 2 solution again and pull the plunger to refill the syringe.
- 6 Adjust the plunger so the solution level coincides with the zero mark (Fig 1).
- 7 Insert the titrator through the hole in the cap of the titrator tube (Fig 2).
- 8 Gently depress the plunger on the titrator, adding the solution a drop at a time and shaking the tube gently to ensure mixing.
- 9 Continue adding the solution until the colour changes from green to purple.
- 10 Observe the mark corresponding to the solution in the titrator (Fig 3). This figure represents the active organophosphonate concentration in the sample as milligrams per litre.

Notes

- 1 The results of this test are expressed in terms of mg/l (ppm) active organophosphonate. Commercially available products are normally sold as aqueous formulations with a given active organophosphonate content. To calculate the dosage of commercial products required from the test results, regard must be made to the active content of the product in use.
- 2 For most accurate results it is recommended that a blank be carried out on the water without organophosphonate compound, or on the makeup water to the system and the result of this test subtracted from the test reading obtained with the cooling water. Substances reported to interfere with this test are aluminium, polyphosphate, chelating agents and iron in high concentrations.

- 3 Thorium is a naturally occurring element* which is carcinogenic. However, the Organophosphonate No 2 solution is very dilute (contains less than 0.1% thorium nitrate) and is not hazardous when used as instructed. Contact with bare skin should be avoided. If skin contact occurs, wash thoroughly. Mop up spills as soon as possible and dispose of wipes to waste. The contents of the test tubes and any unused solution must be disposed of via a waste water system (not into the body of water being tested). * Naturally occurring thorium is weakly radioactive.

USE OF THE PALINTEST DIRECT-READING TITRATOR

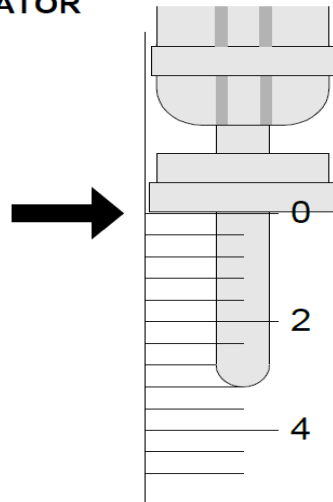


Fig 1 - Adjust reagent level to zero mark

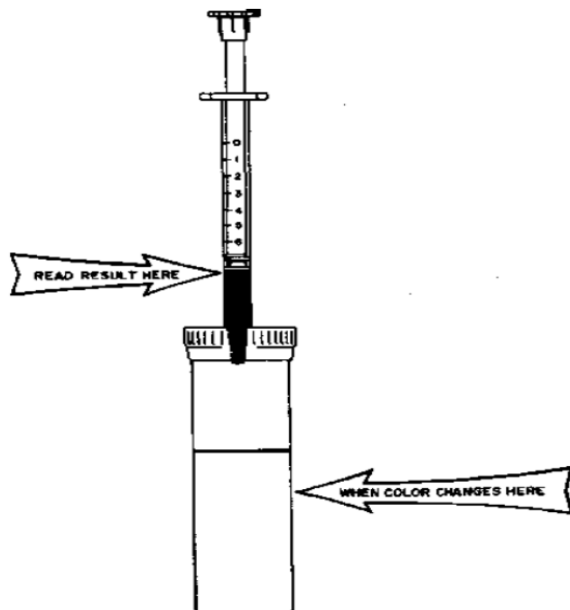


Fig 2 - Insert titrator into tube and add reagent dropwise

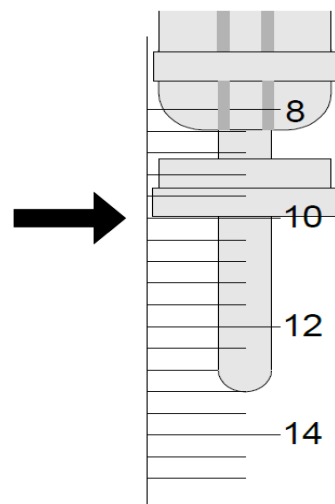


Fig 3 - Read result from titrator mark

V3-04/10

كيف يتم قياس التانين Tannin في دوائر التبريد المغلقة؟

رد المهندس أحمد أحمد ماضي:

تفاعل أكسدة واختزال بالمعايرة مع برمنجنات البوتاسيوم في وسط حمضي (باستخدام حمض كبريتيك مركز).

permanganates in acid Oxidation reduction reaction titrated with potassium media (conc. sulfuric acid)

رد المهندس أيمن عوني عيد:

يمكن تعالج دوائر التبريد بالتانين (المغلقة) وليس أبراج التبريد ويقاس التانين باستخدام برمنجنات البوتاسيوم في وسط حمضي وذلك بتحضير محلول من برمنجنات البوتاسيوم بتركيز 0.05 مولار.

رد المهندس ياسر خميس عسكر:

باستخدام أجهزة هاك أو أقراص بالينتست.

If you have Hach DR series, you can use Hach tannin reagent.

Also, you can use palintest tablets.

=====

سؤال متدرب:

برج تبريد يتم معالجته ببرنامج الزنك والفوسفات ... ماذا يحدث إذا تم زيادة جرعة مشتت الرواسب عن توصيات الشركة المعالجة ... المفروض ٥ كيلو أسبوعياً تم اضافة ٢٥ كيلو مرة واحدة عن طريق الخطأ هل سيؤثر على نظام المعالجة ام لا ؟؟

رد المحاضر:

القاعدة العامة تقول أي كيمياويات تُضاف في المعالجة بنسبة أقل أو نسبة أعلى من التوصية ستضر بالمنظومة ... أما الأكشن حتى تأخذ إجابة مفيدة فيجب أن نطلع على بعض معطيات تحاليل المياه مثل ال TDS أصبح كم تركيزه؟ وما هي أقصى دورة تركيز للمنظومة؟ وما هي مادة المشتت؟ ... إلخ ... وغالباً سيكون في توفير لحجم كبير من المياه ويتم إعادة المنظومة كما كانت من حيث كل البرامترات وجرعات المواد الكيميائية من جديد.

رد الدكتور أحمد أنور أحمد:

من الأخطاء غير المقصودة في حقن كيمياويات برامج المعالجة لأبراج التبريد:

- الطلمبة تسحب جرعة زيادة بدون ما المشغل يلاحظ.
- العكس ، تكون الطلمبة واقفة من فترة ومش واخذ باله منها.
- وممكن يضيف مادة مانع تآكل أو مانع ترسيب وهو يعتقد أنها بيوسايد.
- زيادة حقن حامض كبريتيك مثلاً حتى يظبط ال pH وفجأة يجد التانك في حالة سيئة!

أول شيء المُشغل/المهندس يشعر بها - لو عنده ضمير- أنه ارتكب جريمة ويواجه كارثة ويجب أن يتصرف ، أو لا يتصرف ويكتب فى التقرير اليومى (لوحظ تغير فى نتائج تحاليل مياه البرج بسبب سوء كيماويات الشركة الموردة)!

أول النصائح هى التصرف بهدوء وإبلاغ المدير المسئول أو التواصل مع الشركة المشرفة على برنامج المعالجة ... ثم نأخذ عينات إلى المعمل أو لو عندنا استطاعة نعملها بأنفسنا ونوفر الوقت لأن المعمل أحيانا لا يجد فرصة لعمل تحاليل إضافية. أهم ما نأخذ بالنظر منه هى التحاليل الآتية:

Alkalinity – Conductivity – pH -

وبما أن البرنامج يعمل على الفوسفات والزنك فنقيس أيضاً : PO_4 , Zn .

بعض النصائح المرجو اتباعها فى هذه الحالة:

- وقف حقن جميع الكيماويات.
- إذا كانت قيمة ال pH منخفضة جداً بسبب إضافة الحامض فقد ينصح المتخصص بفتح التفوير blow down على أقصى معدل ، أو إضافة مادة قلوية بشكل فوري وسيقوم المختص بشرح طريقة الإضافة حتى لا نتسبب فى كارثة أخرى.
- أما إذا كان الإنخفاض بسيط فيُنصح بفتح التفوير قليلاً مع المتابعة لحين عودة قيمة pH لما كانت عليه ، ولا داعى لإضافة قلوي . مع العلم أن القلوية ستتأثر بفعل انخفاض ال pH وتعود لما كانت عليه إن شاء الله عند إعادة ضبطها.
- إذا كان قيمة الفوسفات مرتفعة جداً فيجب فتح التفوير خوفاً من تكون فوسفات الكالسيوم فى حالة ارتفاع نسبة الكالسيوم فى مياه التبريد. أما إذا كان الفوسفات مرتفع نسبياً فلا داعى للتفوير العالى ونستمر على الوضع الطبيعي مع إضافة قليل من مانع الترسيب لمنع تكون كمية غير مرغوب فيها من فوسفات الكالسيوم.
- إذا كان الزنك مرتفع جداً نتخذ نفس الخطوات المتبعة مع الفوسفات حتى لا يترسب مركب فوسفات الزنك خاصة إذا ارتفعت ال pH.
- إذا كان المُضاف non oxidizing biocide فزيادة الخير خيرين لكن ننتظر فترة غلق التفوير المقترحة من المختص (6 ساعات أو 12 أو أكثر أو أقل) حسب الإرشادات ... ثم نقوم بزيادة التفوير لأن البيوسايد يزيد العكارة وبعضها يسبب رغاوى قد تضر بالإنتاج نتيجة اختلاف الضغوط الناتجة عن الإضافة.
- إذا كان المضاف كلور أو هيبوكلوريت صوديوم أو غيره من المؤكسدات البيولوجية فهى أيضاً تزيد العكارة فى الماء ويجب زيادة معدل التفوير كما أنها تسبب تآكل أيضاً خاصة فى الاستانلس ستيل .

سؤال متدرب:

عندى برج تبريد وصلت فيه ال TDS إلى ١٠٠٠٠ ppm ... ولا يوجد معالجة له سواء كيميائياً أو بيولوجياً منذ فترة لوجود بعض الخلافات ... أريد أن أعرف ما هى الخطوات المتبعة فى هذه الحالة.

رد المهندس محمد علي عبد الفتاح:

أولاً يجب أن تفتح تعويض وتضبط معامل التركيز من ٥ إلى ٦ علي الأقل ... وتتابع تحاليل الكالسيوم والماغنسيوم وتضمن أنه لا يوجد ترسيب ... يعني كل الأملاح أو معظمها ذائبة معك وموجودة في التحاليل وتقيس الـ pH وتحاول أن تقلله علي قدر المستطاع (يعني لو ضبطه علي ٨ يكون جيد) ... هذه إجراءات سريعة كي تشغل برج التبريد بدون معالجة ... لكن أهم أمر: الكلور. وطبعاً خطوات المعالجة في هذه الحالة ستختلف عن معالجة مياه البرج في الحالة العادية لأن ممكن في حالة استخدام مانع ترسيب مناسب ترفع معامل التركيز.

كيفية حساب الجرعات الكيماوية في أبراج ودوائر التبريد:سؤال تم طرحه في المنتدى:

عندي دائرة برج تبريد وعندي دائرة تبريد مغلقة ... الأول - كما يحدث في كل أبراج التبريد - يوجد زيادة في تركيز للمواد الكيميائية المضافة بسبب البخار والدائرة الثانية تقريباً المواد الكيميائية ثابتة ... وبفرض أنني أريد حقن مانع التآكل بحيث يكون نسبته في الدائرتين 10 جزء في المليون ما هي الخطوات الأساسية المتبعة لكل من الدائرتين مع استخدام طلمبة التحكم في غلقها وفتحها مانيوال؟ وكيف أحسب حجم الدائرتين؟

إجابة المهندس إبراهيم زغلي صادق:

لحساب الجرعات يجب تحديد كميات البخار ومعامل تركيز المياه ببرج التبريد أولاً مع معلومية تركيز المادة الكيميائية المراد استخدامها بالبرج. ففي المثال السابق لو أن كل 10ppm من المادة الخاصة تحت أي مسمى تجاري حسب الشركة المنتجة بمنع التآكل يعطى 5ppm مادة فعالة (زنك أو أورثو فوسفات أو.....) يعني نحن نحتاج أن نحقق 20ppm من البرميل لنحصل على الـ 10ppm المطلوبة. لحساب الكمية الواجب حقنها يومياً بالكيلوجرام من البرميل نضرب الـ ppm × كمية الـ BD اليومية بالميتر المكعب ونقسم الناتج على 1000 ثم نقوم بتقسيم الكمية الناتجة من الحسابات السابقة على عدد ساعات تشغيل الطلمبة يومياً للحصول بذلك على الـ 10ppm بمياه الدائرة المفتوحة. مع الأخذ في الاعتبار عمل معايرة للطلمبة لضمان كفاءتها لتلبية كميات الحقن المطلوبة. ولحساب الـ BD و الـ Evaporation نستخدم المعادلات التالية:

$$\text{Evaporation Rate: } E = (RR \times \Delta T \times E_f) / L_v$$

$$\text{Blowdown Rate: } BD = E / ((C_y - 1))$$

$$RR = \text{Recirculation Rate (m}^3/\text{h)}$$

$$\Delta T = \text{Temperature Drop across the Cooling Tower (}^\circ\text{C)}$$

$$E_f = \text{Evaporation Factor (kcal/kg/}^\circ\text{C)}$$

$$L_v = \text{Latent Heat of Vaporization of Water (556 kcal/kg)}$$

$$C_y = \text{Cycles of Concentration}$$

أما بالنسبة للدائرة المغلقة فيكفى معرفة حجم المياه بالدائرة لحساب كميات الحقن المطلوبة.
بالنسبة للclosed loop ... تضرب كمية الحقن بالppm*حجم الدائرة بالمتر المكعب وتقسم على
1000 ليعطى لنا الكمية من البرميل بالكجم.
والملف التالى به طريق لتحديد حجم دائرة تبريد مغلقة مجهولة الحجم:

DETERMINATION OF CLOSED SYSTEM VOLUME

Presented at

ALBERTA Public Works, Supply & Services
Property Management
Water Treatment Co-ordinators' Meeting #17
Edmonton, Alberta

April 22nd 1993

by

G.F. Yuzwa, P.Eng.

H2O ENGINEERING LTD.
539 Edgemont Bay N.W.
Calgary, Alberta
T3A 2K7

REASONS

A reasonably accurate estimate of the volume of a closed system is required for the following reasons:

1. The determination of the source(s) of air ingress.
2. The determination of the amount of glycol addition.
3. The determination of the amount of inhibitor addition.

METHODS

The following methods may be used to determine the volume of a closed system:

1. Mathematical calculation.
2. Direct measurement.
3. Rule of thumb estimate.
4. Tracer addition.

Mathematical Calculation of System Volume

The mathematical method of estimating the volume of a closed system involves the field measurement of the larger pieces of equipment in the system and the use of established mathematical formulae, such as the following formula for the volume of a cylinder:

$$V = 0.0785 \times d^2 \times l \quad (1)$$

where,

V : volume of cylinder, litres

d : diameter of cylinder, cm

l : length of cylinder, m

As one may expect, this method is very tedious and time consuming for large systems, but it is simple and straight forward for small systems.

Direct Method of System Volume Determination

The direct method of determining the system volume involves the use of the water meter in the fresh water make-up line to the system.

The system is drained completely, the initial make-up water meter reading is recorded, the system is filled to its operating level, and the final make-up water meter reading is recorded. The system volume is simply the difference between the two meter readings.

This method is an accurate method of determining the system volume, provided that the system is completely drained initially. However, its disadvantage lies in the fact that the system must be drained, thus exposing the wetted surfaces to oxygen and causing corrosion.

Rule of Thumb Estimate of System Volume

The rule of thumb method of estimating the volume of a closed system involves the use of proportional relationships between the capacities of certain key pieces of equipment in the system and the total volume of the system.

That is, for closed hot water heating systems that are heated by a hot water boiler, the **estimated** total volume of the system is determined by multiplying the boiler horsepower by 10. For example, for a 50 hp boiler, the **estimated** total system volume would be $50 \times 10 = 500$ USG.

Similarly, for chilled/hot water systems that are cooled/heated by a heat exchanger, the **estimated** total system volume is determined by multiplying the circulating pump capacity by 3. For example, for a circulating pump capacity of 150 USG/min, the **estimated** total system volume would be $150 \times 3 = 450$ USG.

Although the estimated volume is determined very quickly with this method, it should be considered to be only a "ball-park" estimate.

Tracer Addition Method of System Volume Determination

The tracer addition method of determining the system volume involves the addition of a measured quantity of unreactive foreign material to the system, determining the tracer material concentration by chemical analysis, and calculating the system volume by a mathematical formula.

The most common tracer material in use to-day is lithium chloride. It is very soluble, it does not chemically react with other elements in the system water, its concentration is reasonably easy to accurately measure, and it is readily available.

A detailed procedure is presented overleaf, but generally, the system volume is estimated, a calculated amount of lithium chloride is added to the system, the lithium concentration in the system is determined by chemical analysis, and the volume of the system is calculated.

This method of system volume determination is easy to implement, and it is accurate.

Procedure for System Volume Determination by Tracer Method

1. Obtain a water sample of the system and determine the lithium concentration initially in the system by chemical analysis;
2. Determine the estimated volume of the system by the mathematical or rule of thumb methods described previously;
3. Determine the amount of lithium chloride addition as follows:

$$W = 15.27 \times V_1 / P \quad (2)$$

where,

W : calculated weight of lithium chloride, grams

V₁ : estimated volume of system, litres

P : purity of lithium chloride, %

4. Add the calculated weight of lithium chloride, or a known amount close to the calculated weight, to the system;
5. After 2-5 days of system circulation, obtain a sample of the system water and determine its lithium concentration by chemical analysis;
6. Determine the system volume as follows:

$$V_2 = 1.637 \times P \times W / (C_2 - C_1) \quad (3)$$

where,

V₂ : calculated volume of system, litres

P : purity of lithium chloride, %

W : weight of lithium chloride added, grams

C₂ : final lithium concentration, mg/l;

C₁ : initial lithium concentration, mg/l.

APPLICATIONS

Source(s) of Air Ingression

In order to reduce air ingression into a closed system, a positive pressure of at least 5 psig is maintained at the top of the system by air addition to the expansion tank. The required pressure is calculated as follows:

$$P = (H \times 0.4335) + 5 \quad (4)$$

where,

P : static pressure at the circulating pump, psig

H : head of water to top of system, feet

OR,

$$PM = (HM \times 9.805) + 34.47 \quad (5)$$

where,

PM: static pressure at the circulating pump, kPag

HM: head of water to top of system, meters

The quantity of make-up water for a closed system should average less than 0.1% of the system volume per day. That is, for a 1000 gallon system, the water make-up rate should be less than 30 gallons per month. This equates to a sodium sulphite consumption of approximately 10 ml per month per 1000 gallons of water in the system. If the sodium consumption is considerably higher than this amount, there is excessive air ingression into the system.

The tracer method of system volume determination may be used to determine the source of this air ingression.

That is, if the difference between the lithium chloride concentrations on two successive tests after it is added to the system is large, the air ingress is caused by excessive water loss from the system, and the volume of this water loss can be calculated. Alternately, if the difference between the lithium chloride concentrations on two successive tests after it is added to the system is small, the air ingress is caused by low system static pressure, faulty valve & pump seals, faulty automatic air vents, etc.

Amount of Glycol Addition

The amount of glycol addition required may be determined by the following formula after the volume of the system is determined:

$$G = V \times (100/P) \times (CD - CP)/(100 - CP) \quad (6)$$

where,

G: volume of glycol to be drained & added, litres

V: volume of system, litres

P: purity of fresh glycol, vol%

CD: desired glycol concentration, vol%

CP: present glycol concentration, vol%

Amount of Inhibitor Addition to Glycol System

If the RA (100%) value is less than 9.0 in an ethylene glycol system, the following equation may be used to calculate the first estimate for the amount of inhibitor required to increase the inhibitor concentration:

$$I = 1.75 \times V/100$$

where,

I: volume of proprietary inhibitor, litres

V: system volume, litres

Similarly, if the RA (100%) value is less than 9.8 in a propylene glycol system, the specific gravity, system volume, and phosphate concentration are required in order to determine the correct amount of food grade dipotassium phosphate to add to the system.

سؤال متدرب:

دائرة مغلقة close loop حجمها 8000 متر مكعب ونريد حقن بيوسيد 50 ppm ونستخدم مضخة 50 L/h ... نحتاج كم من الوقت حتى أصل إلى 10 ppm.

إجابة المهندس إبراهيم زغلي صادق:

Closed cooling circuit:

System volume = 50 m³

نحتاج أن نضيف فيها 10 جزء في المليون من مادة مانع التآكل ونريد معرفة كم كجم يجب إضافتها؟

$$\text{Kg}_{(s)} = (\text{ppm} \times \text{S.V}) / 1000 = (10 \times 50) / 1000 = 0.5 \text{ kg}$$

يعني سنضيف 0.5 كجم من البرميل الذي يحتوي على 100% من المادة الفعالة لنحصل على تحليل 10 جزء في المليون المطلوبة.

مثال آخر لحساب مدة الحقن لبايوسايد:

$$\text{S.V} = 8000 \text{ m}^3$$

$$\text{Dose} = 50 \text{ ppm}$$

$$\text{Pump} = 50 \text{ l/h}$$

$$\text{Time} = ??$$

الإجابة:

$$\text{Quantity of biocide (Kg)} = (50 \times 8000 / 1000) = 400 \text{ kg}$$

ثم نحسب الحجم المطلوب بقسمة الوزن على الكثافة (ولتكن 0.8):

$$\text{Volume} = \text{weight} / \text{density} = 400 / 0.8 = 500 \text{ liters}$$

وبهذا فسوف نحقن 500 لتر ... وبما أن المضخة تضخ 50 لتر/ ساعة فإن عدد الساعات تُحسب كالتالي:

$$\text{عدد الساعات (بفرض 100% حقن للطلبة)} = \text{عدد اللترات المطلوب حقنها على سعة الطلبة}:$$

Number of hours = 500 /50 = 10 hours

معنى ذلك أننا سنحتاج عشر ساعات لنضخ هذه الكمية بسعة 100% للظلمية.

سؤال متدرب:

لو انا عندي نظام ال Auto dosing لا يعمل ... يعني أشغله ساعات محددة وأيام محددة بالأسبوع كيف أحسب كم ساعة وكم يوم أجعل الإضافة تعمل هل لها حساب معين؟

إجابة المهندس إبراهيم زغلي صادق:

حسب فترة نصف العمر للsystem.

سؤال متدرب:

عندي سؤال فني ... أحتاج أعرف حجم مياه دائرة تشيلر مغلقة جديدة بدون معلومات عن حجم المواسير هل هناك طريقة لذلك !؟

رد المهندس يامن زاهر بالي:

هناك طريقة تقريبية (مجموعة استطاعة الشيلرات بال طن /20) ... ينتج حجم الدائرة بالمتر المكعب ... لنفرض الدائرة فيها ٢ تشيلر كل واحد ٢٠٠ طن فيكون المجموع ٤٠٠ طن و بعدها ٤٠٠/٢٠ = ٢٠ ... وبالتالي تقدر حجم الدائرة ب ٢٠ متر مكعب والأفضل تعمل الحسابات مع احتياطي ١٠٪ ليكون الكل ٢٢ متر مكعب.

رد المهندس عمرو محمد المصري:

أفضل طريقة ... أعرف كم طن تبريد في الدائرة وأقسم على 20 يُعطي لك الحجم تقريباً.

المهندس أحمد حميدة سليم:

لمعرفة حجم المياه في دائرة شيلر مجهولة الحجم لتجهيز كيماويات الغسيل والمعالجة يتم حسابها بمعلومية أطوال المواسير وأقطارها واستخدام المعادلة:

$$V = \pi r^2 L$$

وهناك حل آخر للدوائر الصغيرة الحجم باستخدام فلوميتتر Flow meter ... يتم تفريغ الدائرة من المياه وحساب كم متر مكعب مطلوب لملء الدائرة.

وحول سؤال ما هي مواصفات المياه المغذية لدوائر التبريد المغلقة (التشيلرات) وأبراج التبريد ... أجاب الزملاء:

رد المهندس محمد طه:

هذا الموضوع تحديداً فيه اختلاف وفيه رأيين ...

الرأي الأول من منظور كيميائي بحث قائم على خبرة وتجربة عملية وأساس علمي مرتبط بعلاقة بيانية بين معدلات التآكل في المعادن (سواء حديد أو نحاس) وبين قيم ال pH وهذا سيعطيك أقل معدل تآكل عند قيمه pH حوالي 9.

الرأي الثاني ... اتجاه هندسي لمصنع التشيلر ومهندسي الألكتروميكانيك الذين مرجعيتهم كتاب ashrea ... والذي يحدد فيه قيم ال pH قرب ال ٨ ... وبالتأكيد له مستند عندهم وهذا أمر مسلم به بالنسبة لهم طالما مذكور في الكتاب بهذه القيمة ...

المهندس عاصم العراقي:

عندنا فقط المواصفات التي يتم التوصية بها من قبل الشركة المُنتجة للكيماويات فقط ونظراً لحجم الشغل في المصنع ... يتم الإلتزام بمعايير التوصيلية وال pH فقط وهي كالتالي:

$$\text{pH} = 7.0 - 9.0$$

$$\text{Conductivity} = 2.5 \text{ ms/cm}$$

$$\text{Turbidity} = \text{visual check}$$

المهندس حسن البحر:

المواصفات لدوائر المياه المغلقة:

$$\text{pH} = 9 - 10.5$$

$$\text{Fe} = 0 - 1 \text{ ppm}$$

$$\text{Nitrite} = 800 - 1200 \text{ ppm}$$

$$\text{TDS} = \text{TDS make up} + \text{TDS nitrite} = [(\text{max } 2000 \text{ ppm})].$$

ويكون هناك في زيادة أو نقصان حسب نوع الكيماويات أو تركيزها في الشبكة

$$\text{Turbidity} = \text{nil}$$

$$\text{Alkalinity} = < 200 \text{ ppm}$$

$$\text{Chloride} = > 50 \text{ ppm}$$

المهندس ناجي سعيد عبد المطلب:

بالنسبة لمياه التعويض للأبراج وهل لها standard أو لا ... فالمهم ما مواصفاتها داخل البرج وكل برج وله مواصفة.

وتفضل المهندس برفع الفايل التالي:

Water Quality Guidelines

> Water Treatment

A proper water treatment program, administered under the supervision of a competent water treatment specialist, is an essential part of routine maintenance to ensure the safe operation and longevity of evaporative cooling equipment, as well as other system components.

In evaporative cooling products, cooling is accomplished by evaporating a small portion of the recirculating water as it flows through the unit. As the water evaporates, the dissolved solids originally present in the water remain behind and if not controlled, the concentration of dissolved solids will increase rapidly. This can lead to corrosion, scale or biological fouling which may negatively affect heat transfer as well as the longevity of system components.

- **Corrosion** – Red rust on steel components and white rust on galvanized surfaces may affect the longevity of system components.
- **Scale Formation** – Scale, typically a calcium or magnesium based build-up, not only reduces heat transfer and system efficiency, but also may lead to under deposit corrosion. If scale is not controlled, it may continue building on critical components such as the fill and severely impact thermal performance.
- **Biological Fouling** – Slime and algae formations may reduce heat transfer, promote corrosion, and harbor pathogens such as Legionella.

For more information on water treatment, please see the Filtration Guide section in the previous section.



NOTE:

Since the quality of the ambient air and make-up water varies significantly from job site to job site, BAC strongly recommends obtaining the services of a competent water treatment specialist prior to the initial start-up of the evaporative cooling equipment. Additionally, to protect against the risk of Legionella contamination, never operate the cooling equipment without adequate biological control.

> Corrosion and Scale Control

To control corrosion and scale, maintain the water chemistry of the recirculating water within the parameters listed in **Table 1** on the following page. The specific measures required vary from system to system and are dependent on the chemistry of the make-up water, the metallurgy of the piping and heat transfer devices exposed to the recirculating water, and the temperatures at which the system will be operating. Bleed/blowdown, the continuous flow of a small portion of the recirculating water to a drain, is used to control the concentration of dissolved solids. On rare occasions, this may be adequate to control scale and corrosion. More often, chemical scale and corrosion inhibitors are necessary, which raise the allowable level of dissolved solids without the risk of scale and corrosion.

Keep the chemically treated water within the guidelines given in **Table 1**. In cases where bleed/blowdown alone is being employed for corrosion and scale control without chemical treatment your water treatment specialist may recommend more conservative limits than those shown in **Table 1**.



Water Quality Guidelines

Property of Water	Recommended Levels for Various Materials of Construction			
	Galvanized Steel	Thermosetting Hybrid Polymer	Type 304 Stainless Steel	TriArmor® Corrosion Protection System or Type 316 Stainless Steel
pH	6.5 to 9.0 ⁽¹⁾	6.5 to 9.2 ⁽¹⁾	6.5 to 9.2 ⁽¹⁾	6.5 to 9.5 ⁽¹⁾
Total Suspended Solids	25 ppm	25 ppm	25 ppm	25 ppm
Total Dissolved Solids (TDS)	1,500 ppm	2,050 ppm	2,050 ppm	2,500 ppm
Conductivity	2,400 (microhms/cm)	3,300 (microhms/cm)	3,300 (microhms/cm)	4,000 (microhms/cm)
Alkalinity as CaCO ₃	500 ppm ⁽²⁾	600 ppm ⁽²⁾	600 ppm ⁽²⁾	600 ppm ⁽²⁾
Calcium Hardness as CaCO ₃	50 to 600 ppm ⁽²⁾	50 to 750 ppm ⁽²⁾	50 to 750 ppm ⁽²⁾	50 to 750 ppm ⁽²⁾
Chlorides (CL)	250 ppm	300 ppm	300 ppm	750 ppm
Sulfates	250 ppm	350 ppm	350 ppm	750 ppm
Silica	150 ppm	150 ppm	150 ppm	150 ppm

Table 1. Quality Guidelines for Treated Circulating Water



NOTES:

1. Galvanized steel units require passivation in order to prevent white rust (refer to "Passivation").
2. Hardness and alkalinity limits may be exceeded under certain circumstances. Consult your water treatment specialist for recommendations.
3. The conversion factor used to determine conductivity is 0.625 (TDS = 0.625 x Conductivity).
4. EVERTOUGH™ Construction units have a TriArmor® Corrosion Protection System basin.
5. The guidelines above refer to the materials used in construction. Different combinations of materials may be used on the same unit.
6. Water chemistry will change with operating temperatures. The recommended guidelines listed in Table 1 refers to water temperature at 95°F.

> Chemical Treatment Requirements

Chemical treatment programs must meet the following requirements:

- The chemicals must be compatible with the unit materials of construction as well as other materials used in the system (pipe, heat exchanger, etc.).
- BAC discourages acid dosing as means of scale control except for open circuit cooling towers with remote sump applications or towers constructed from stainless steel. This should be done at a point in the system where total mixing and dilution occur before reaching the evaporative cooling equipment. The preferred injection point for chemical scale and corrosion inhibitors is on the discharge side of the system circulating pump(s). These chemicals should not be batch fed directly into the unit's cold water basin or water distribution system, as this can severely damage areas directly contacted.
- When chlorine is added to the system, free residual chlorine should not exceed 1 ppm, except as noted in start-up and shutdown section. Exceeding this limit may accelerate corrosion.

> Passivation

When new systems are first commissioned, special measures should be taken to ensure that galvanized steel surfaces are properly passivated to provide maximum protection from corrosion. Passivation is the formation of a protective, passive, oxide layer on galvanized steel surfaces. To ensure the galvanized steel surfaces are passivated, the pH of circulating water should be kept between 6.5 and 9.0 and calcium hardness between 50 and 600 ppm (as CaCO_3) for four to eight weeks after start-up, or until new zinc surfaces turn dull gray in color. If white deposits form on galvanized steel surfaces after the pH is returned to normal service levels, it may be necessary to repeat the passivation process. In case the pH can't be kept below 8.2, a secondary approach is to conduct a chemical passivation using inorganic phosphate or film-forming passivation agents. Consult your water treatment specialist for specific recommendation.



NOTE: Stainless steel cold water basins and basins protected by the TriArmor® Corrosion Protection System or thermosetting hybrid polymer do not require passivation. However, if the upper structure is galvanized steel, passivation is required. Closed circuit cooling towers and evaporative condensers with galvanized coil require passivation.

> Biological Control

The warm, oxygen and nutrient rich environment inside evaporative cooling equipment provides an ideal environment conducive to the growth of algae, slime, and other micro-organisms. Uncontrolled, this can reduce heat transfer, promote corrosion, and promote the growth of potentially harmful organisms such as Legionella. **To avoid biological contamination and minimize the risk of Legionella, initiate the biocide treatment program at start-up and continue on a regular basis thereafter in accordance with the treatment supplier's instructions.** Bleed/blowdown or chemical treatment used for corrosion and scale control alone is not adequate for control of biological contamination. Introduce solid or granular biocides through a chemical "pot" feeder installed in parallel with the system circulating pump. Diluted liquid biocides may be added directly to the cold water basin.

Initial Start-up and Start-up Following a Shutdown Period

To minimize the risk of biological contamination during a shut-down period of three days or more, it is recommended that the entire system (evaporative cooling equipment, system piping, heat exchangers, etc.) be drained. To resume operation of a drained system and at initial start-up, clean all debris from the cold water basin and fill the system with fresh water. Then execute one of the following biocide treatment programs while operating the circulating pump and prior to operating the unit fans:

- Resume treatment with the biocide that was used prior to shut-down. Operate the pump only while maintaining the maximum recommended biocide residual for a sufficient duration (residual and time will vary with the biocide) as recommended by the water treatment supplier. Start the fan only after this treatment period is completed.
- Check the pH of the circulating water and, if necessary, adjust it to 7.0 - 7.6 pH. Then, running the pump only, treat the system with sodium hypochlorite to maintain a level of 4 to 5 mg/l (ppm) free chlorine (as Cl_2) over a six hour period. Test kits for measuring the free residual of chlorine are commercially available. Start the fan only after this treatment period is completed.

When it is not practical to drain the system during shut-down periods, install a by-pass line with shut-off valves to permit the recirculating water to circulate throughout the system, including the unit basin, while bypassing the fill section of the evaporative cooling equipment (fans should remain off). Treat the system as per one of the above-described methods prior to restarting the unit.

System Cleaning for Coil Products

This section is applicable to BAC Closed Circuit Cooling Towers and Evaporative Condensers only.

The outside of the heat exchange coil may require occasional cleaning. The chemicals used must be compatible with the materials being treated. For example, the standard coil is galvanized steel on the outside. The inside of the coil is black carbon steel. For finned coils, the coil cleaning must be careful not to damage the fins (outside of the coils) and the coils themselves. For specific recommendations on coil cleaning, contact a qualified consultant.

Closed Circuit Cooling Towers

With proper precautions, prior to start-up circulate an alkaline solution which can be used to clean condenser water systems through a closed circuit cooling tower. The necessary precautions include:

- Limit the duration of the cleaning to one day or at the most two days.
- The temperature of the solution should never exceed 100°F (37.8°C).
- The maximum concentration of chemicals in the circulation solution should not exceed any of the following:
 - 5% Sodium Hydroxide
 - 5% Sodium Metasilicate
 - 2% Sodium Carbonate
 - 2% Tetra Sodium Pyrophosphate
 - 0.5% Trisodium Phosphate
 - 0.5% Sodium Nitrate
 - 5-10% Butyl Cellosolve

Evaporative Condensers

The installation and manufacturing processes commonly used for field assembly of steel-piped systems may leave weld byproducts inside coils and connecting piping (especially in refrigeration systems). It is common practice to install filters and/or strainers that remove contaminants during initial system operation. Shortly after system startup, the filters and/or strainers should be cleaned or replaced.

وأخيراً:

لتمديد عُمر المُعدّات equipments وكفائتها ننصح بالتحكم المستمر (Ongoing control) وذلك بعمل back flushing وتنظيف قاع البرج وعمل صيانة دورية لبرج التبريد وأجزاؤه مع متابعة المعالجة الكيميائية.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

26

قياس معدل
التآكل واختبار
الكوبون!!

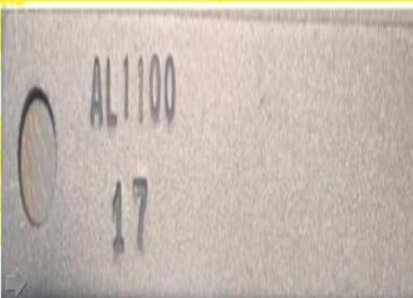
Mild Steel



Copper



Aluminium



النقاش السادس والعشرون:-**26- قياس معدل التآكل واختبار الكوبون Coupon test!**

قطعة صغيرة ظريفة مستطيلة الشكل من معدن على هيئة شريط strip أو قضيب bar تُوضع في خطوط دائرة التبريد توضح لنا معدل التآكل في المنظومة! وبالتالي يقلل ذلك من مصاريف الإصلاحات والصيانة ...

معدن الكوبون الذي نأتي به يكون من نفس نوع المعدن محل الدراسة الموجود عندنا بدائرة التبريد سواء المبادل أو المواسير أو ... أو ... لو يهمننا معرفة تآكل carbon steel نستخدم شريط carbon steel ... ولو يهمننا معرفة تآكل الاستانلس نضع شريط استانلس ولو يهمننا معرفة تآكل الحديد المجلفن المغطى بالزنك نضع شريط حديد مجلفن ولو كنا نريد نحاس نستخدم شريط نحاس وهكذا ... انظر إلى عدة أنواع من شرائط الكوبون في الشكل التالي:



شاهد هذا الفيديو (في دقيقتين):

<https://www.youtube.com/watch?v=y8OzWgJgYaM>

فكرة اختبار الكوبون:

الفكرة باختصار أننا نزن شريط الكوبون قبل وضعه في المنظومة وليكن 10 جرام ... ولمدة 30 يوم نضعه في المنظومة ونثبتته بشكل صحيح عن طريق مسند أو حمالة rack مناسبة ثم نخرجه وننظفه ونعيد وزنه ... وليكن وزنه 9 جرام ... معنى ذلك أنه حدث تآكل واحد جرام في المدة التي تركنا فيها الكوبون في الدائرة ... فرق الوزن هو معدل التآكل corrosion rate في الثلاثين شهراً ... يتم حسابه من العلاقة:

$$\text{Corrosion rate} = \text{weight loss} / (\text{surface area} \times \text{time})$$

بالنسبة لوحدات القياس لمعدل التآكل كالتالي:

mpy = mils per year = millimeters per year

mdd = milligram / decimeter / time (days)

يتم حساب معدل التآكل بالmpy من المعادلة التالية:

$$\text{Corrosion Rate (mils per year, mpy)} = 22.3 W / (D.A.T)$$

Where:

W = weight loss, mg,

D = density of the metal, g/cm³,

A = exposed area of coupon, in.², and

T = time, day

بالنسبة للمساحة المكشوفة للكوبون يتم أخذها من ورقة التعليمات المرفقة بشريط الكوبون ... وأحياناً يرفق بالكوبون معامل F بحيث نحسب مباشرة من المعادلة التالية:

$$\text{Corrosion rate} = w \times F \times 1000 / \text{days}$$

فمثلاً فرق الوزن كان 0.04 ملليجرام في 30 يوم وكان المعامل = 0.84 فإن معدل التآكل:

$$\text{Corrosion rate} = 0.04 \times 0.84 \times 1000 / 30 = 1.12$$

بالنسبة للكثافات لبعض المعادن تستطيع أن تأخذها من أحد الجداول بعد معرفة نوع المعدن ... مثل الجدول التالي:

Alloy	Density (g/cm ³)
Aluminum, 1100	2.71
Aluminum, 2024	2.78
Brass, Arsenical Admiralty	8.52
Brass, Aluminum Arsenical	8.33
Brass, Phosphorized Admiralty	8.52
Carbon Steel, Pipe Grade	7.85
Carbon Steel, 1010	7.86
Carbon Steel, 1018	7.86
Carpenter 20-Cb3	8.08
Cast Iron, Gray	7.19
Copper	8.91
Copper-Nickel, 90/10	8.94
Copper-Nickel, 70/30	8.94
Inconel 600	8.51
Incoloy 800	7.94
Incoloy 825	8.14
Lead	11.34
Monel 400	8.84
Monel K-500	8.47
Nickel 200	8.89
Stainless Steel, 304	8.02
Stainless Steel, 304L	8.02
Stainless Steel, 316	8.02
Stainless Steel, 316L	8.02
Stainless Steel, 2205 Duplex	7.80
Titanium, Gr. 2 & 4	4.54
Zinc	7.13

وهذا مثال عملي لحساب معدل التآكل:

EXAMPLE

A mild steel coupon weighing 10.9265 grams and having an exposed area of 2.96 square inches was installed in a process on August 27th. On November 13th, after 78 days in the process, it was removed and cleaned. The weight was found to be 10.5560 grams. From the following table, the density is found to be 7.85 g/cm³. The corrosion rate calculation for the period is:

$$\frac{22,300 \times (10.9265 - 10.5560)}{7.85 \times 2.96 \times 78 \text{ days}} = \underline{4.56 \text{ mpy}}$$


كما نري بالمثال السابق النتيجة كانت رقم 4.56 ... فما مدلوله؟

الجدول التالي يوضح مدلول الأرقام:

Starting Point for Specifying and Quantifying Corrosion Rates

Interpretation of Corrosion Rates in Open Cooling Systems

Description	Rate (mpy)	Comment ^a
Negligible	<2.0	Excellent. Very difficult to achieve
Mild	2.0–4.0	Good. Acceptable for most situations
Moderate	4.0–6.0	OK. Probably adequate protection
High	6.0–8.0	Poor. Doubtful protection
Severe	>10.0	Very poor. Probably unacceptable protection
<i>For copper and brasses, the same comments apply if mpy is 10% of above rates.</i>		

^aFor closed systems, same comments apply if steel mpy is 50% of above rates.

Corrosion Rate Standards

Rating	Rate (Mils/yr)
Poor	>5
Fair	3.5 – 5.0
Good	2.0 – 3.5
Excellent	0.0 – 2.0

Rate of corrosion mpy	تقييم معدل التآكل
> 5	عالي
3.5 – 5.0	مقبول أو معتدل
2.0 – 3.5	جيد
0.0 – 2.0	لا يوجد (ممتاز)

وهذا جدول آخر أكثر تفصيلاً للمعادن:

System	Mild Steel	Copper and Copper Alloys	Aluminum	Stainless Steel	Comment
Cooling Towers	<1.0	<0.1	--	<0.1	Excellent Corrosion Rates
	1.0 - 3.0	0.1 - 0.3	--	--	Good Corrosion Rates
	3.0 - 5.0	0.3 - 0.5	--	--	Fair Corrosion Rates
	>5.0	>0.5	--	>0.1	Poor Corrosion Rates
Closed Loops	<0.2	<0.1	<0.1	<0.1	Excellent Corrosion Rates
	0.2 - 0.5	0.1 - 0.2	0.1 - 0.3	--	Good Corrosion Rates
	0.5 - 1.0	0.2 - 0.3	0.3 - 0.5	--	Fair Corrosion Rates
	>1.0	>0.3	>0.5	>0.1	Poor Corrosion Rates

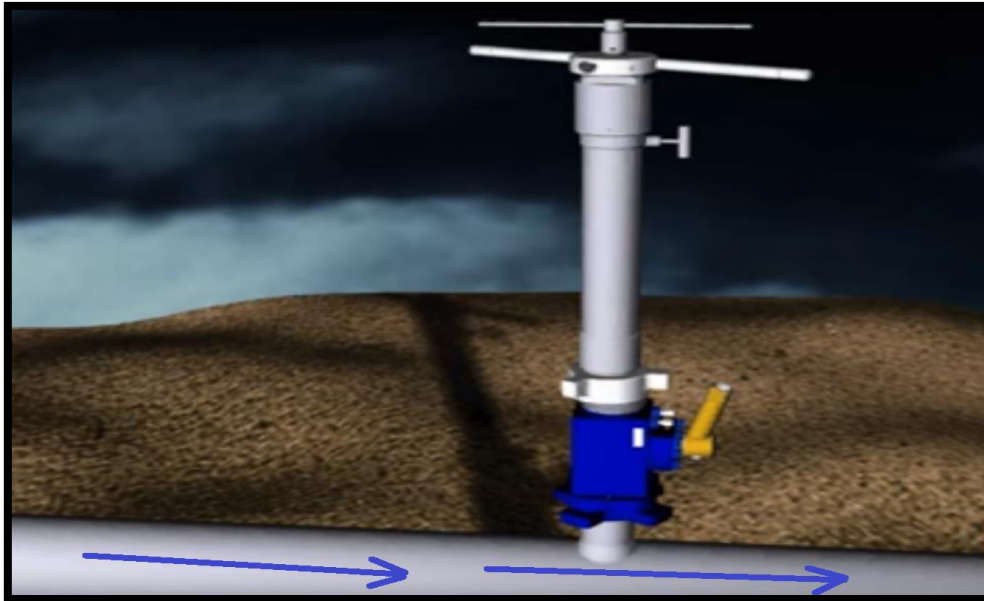
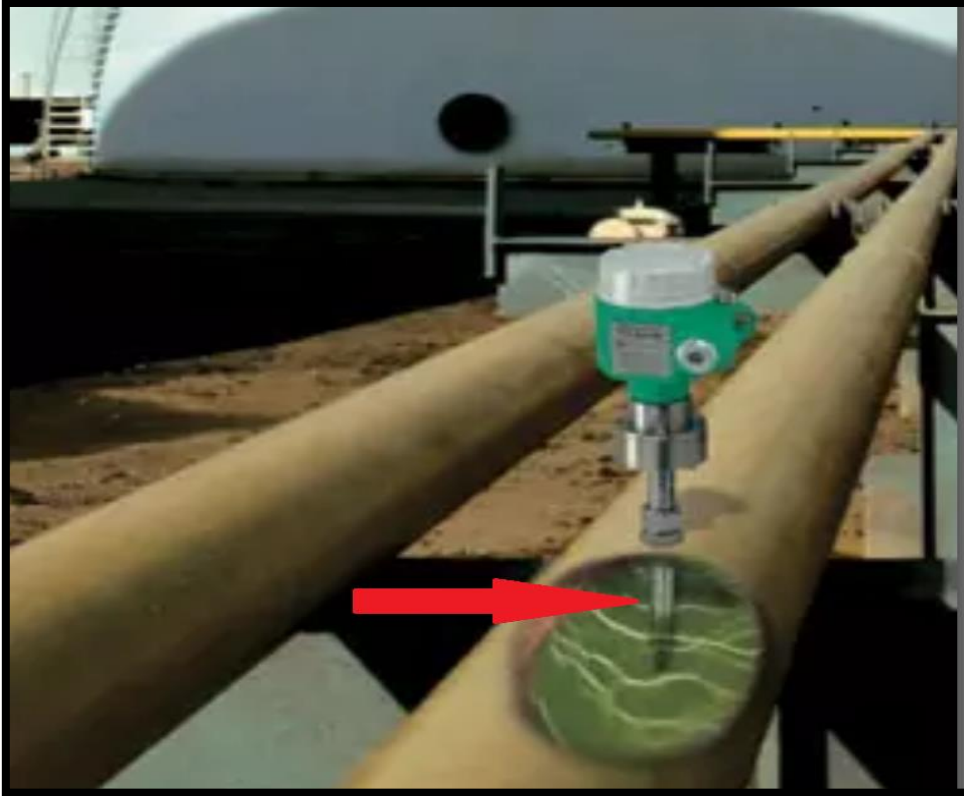
*All corrosion rates in mpy

A good cooling water treatment program should be able to reduce corrosion rates to the following generally accepted average levels reported as mil/yr:

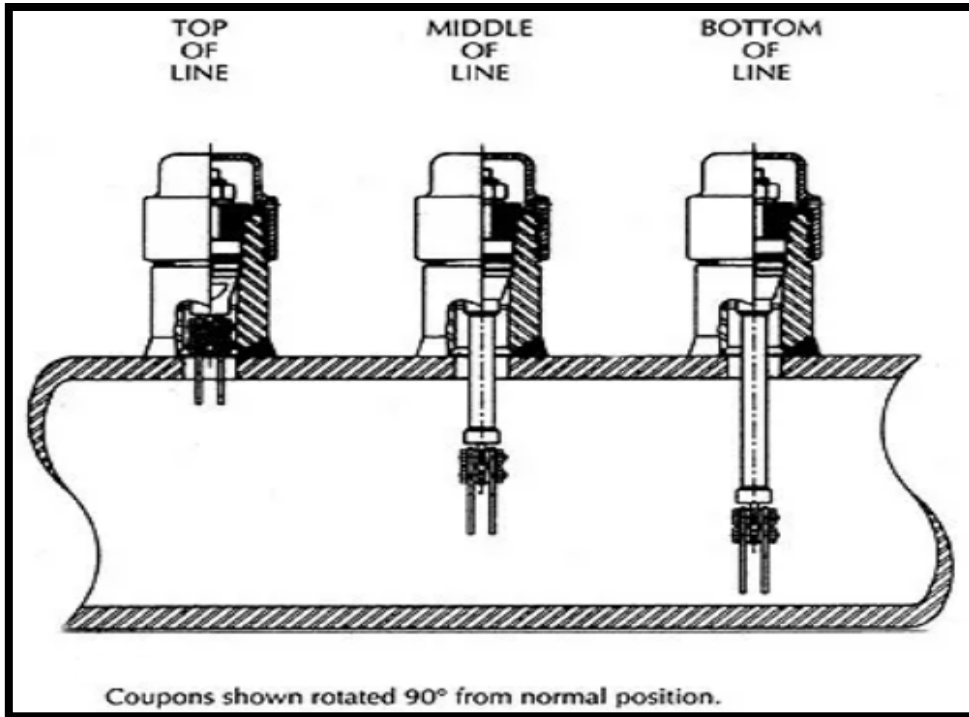
Mild Steel	1 to 2	Copper Alloys	0.1 to 0.2
Aluminum	1 to 2	Zinc	2 to 4

ملاحظات من هنا وهناك على اختبار الكوبون:

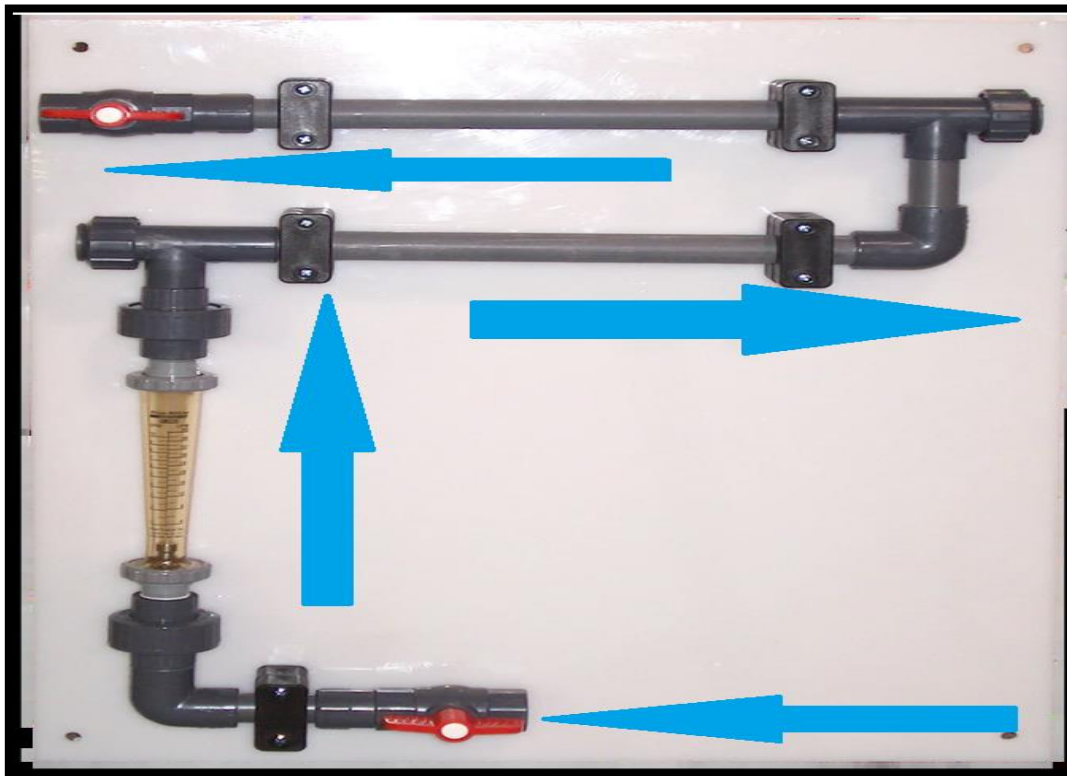
- 1- يجب تثبيت شريط الكوبون بطريقة صحيحة تضمن لنا وصول تدفق المياه له بمعدل جيد (في طريق سريان المياه) ... ويتم استخدام حامل مخصوص rack له عدة أشكال لتثبيت الكوبون ... انظر إلى الشكلين التاليين تجد الكوبون مثبت في خط سريان المياه من الخارج:

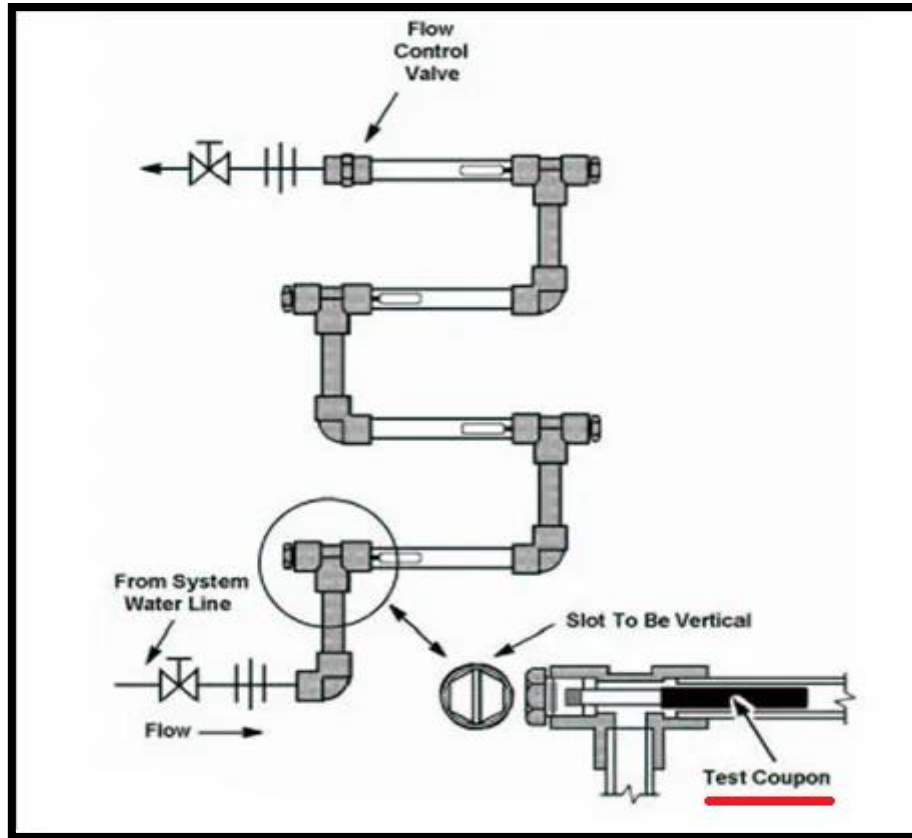


وقد نستخدم أكثر من شريط للكوبون نضعه على مسافات متفرقة من جدار المعدن كما بالشكل التالي:

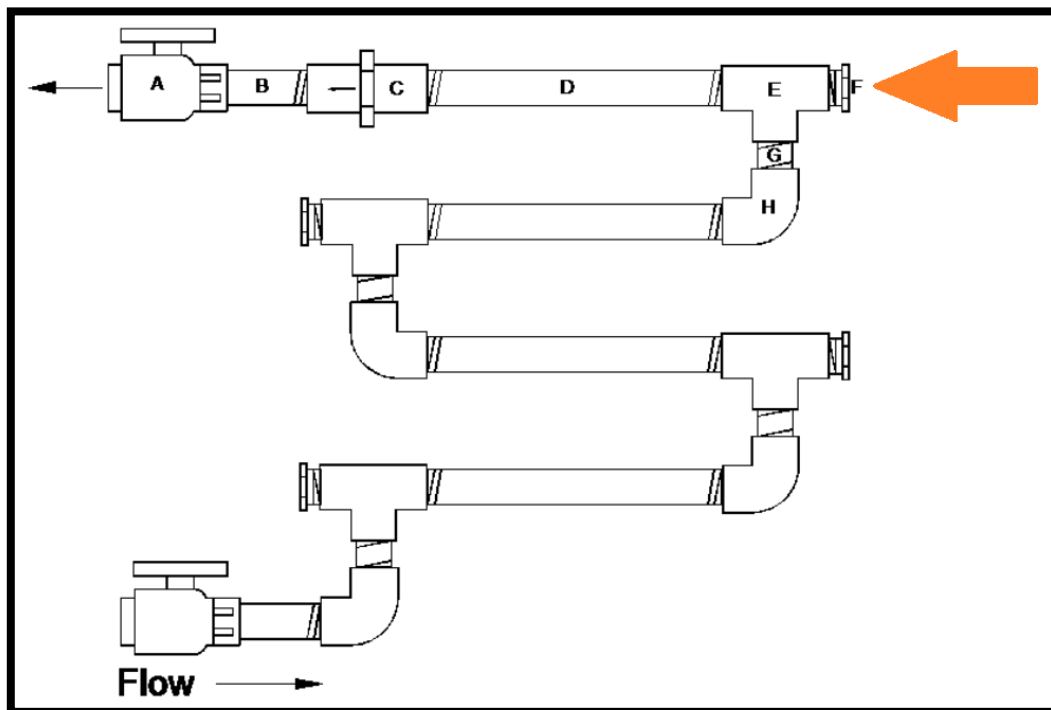


وَيُمْكِنُنا أَيْضاً اسْتِخْدَامَ rack مَخْصُوصٍ يَتِمُ تَثْبِيتُهُ side stream كَمَا بِالشَّكْلِ التَّالِي:

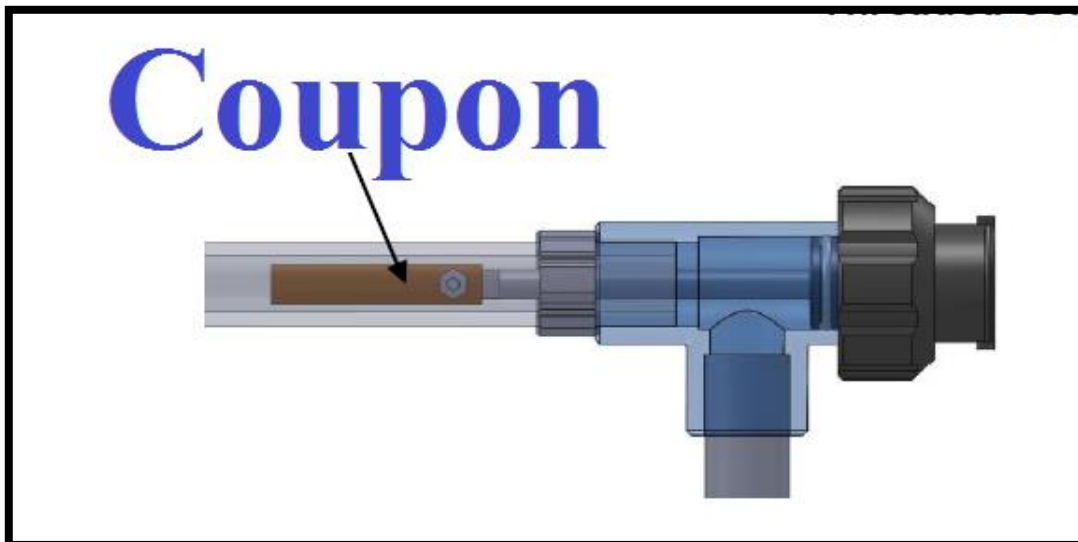




أو يتم وضعه عند النقطة F المشار إليها بالسهم كما بالشكل التالي:



نجد سريان المياه يدخل من أسفل ليقابل الكوبون المثبت كما بالشكل السابق وعن طريق ماسك holder يُثبت فيه الكوبون كما بالأشكال التالية:



يسري المياه في ال rack وبمعدل تدفق يتحكم فيه صمام تحكم flow meter controller ومقياس السريان (Flow meter indicator) وهو عداد يأتي مع ال rack ليقرأ سريان المياه الذي يجب أن يكون بمعدل معين (كذا متر في الثانية) لايزيد عنها ولاينقص حتى نتفادى ال erosion corrosion الناتج من السريان السريع ونتفادى التآكل السريع أوتكون البايوفاولينج مع معدل السريان البطيء ... ويتم التوصية بالمعدل مع مانيوال ال rack تبعاً لطبيعة مادة الصنع أيضاً ... وهكذا تمر المياه في ال rack وتخرج من أعلي إلى دائرة التبريد مرة أخرى. يتم تثبيت ال rack بعيداً عن نقاط حقن المواد الكيميائية وبمعزل عن المعادن الأخرى كهربياً يعني Electrically isolated.

وعند تثبيت عدة معادن أوسبائك من الكوبون (Multiple alloys) يُنصح أن يكون الترتيب في مواجهة المياه كالتالي:

الألومنيوم ثم الحديد المجلفن ثم الحديد الصلب ثم النحاس المخلوط بالزنك Brass ثم النحاس copper ثم النحاس المخلوط بالنيكل Copper/Nickel ثم الاستانلس ستيل في النهاية.

ويتم التثبيت أيضاً بحيث يكون الماسك holder في مواجهة سريان المياه ثم يمر على الكوبون. من المؤكد أن شعورك بنظام rack على side stream أفضل جداً خاصة إذا استخدمنا الغسيل الكيماوي لتنظيف الخطوط الرئيسية ... أليس كذلك؟ وبالتالي نستطيع عزل الكوبون عن المعالجة الكيميائية.

2- يمكننا فحص الكوبون بالعين المجردة لنعرف ما حدث لها من تغيرات (قد تكسوها مثلاً طبقة من أكاسيد الحديد الحمراء) ... بالطبع هذه الطبقة لها وزن ويجب أن نتخلص منها حتى نرجع لون الكوبون إلى اللون الرصاصي أو الفضي الأصلي ... فيتم وضع الكوبون نصف دقيقة مثلاً في محلول HCl ليقوم فقط بإذابة الجزء المتأكسد ويترك الباقي حتى يكون القياس صحيح ... يجب عمل ضوابط خاصة عند غمس الكوبون في محلول الهيدروكلوريك ... وإلا لو زاد وقت الغمس ... حصلنا على نتيجة للتآكل أكبر من الحقيقي ... والعكس صحيح

3- قد يكسو شريط الكوبون طبقة سوداء أو غامقة قد تكون بسبب وجود زيوت أو شحوم بالدائرة وقد تكون بسبب بياوفاولينج ويظهر أيضاً على الحامل الذي يثبت الكوبون في المياه.

4- أنواع متعددة من التآكل تظهر في الكوبون على سبيل المثال:

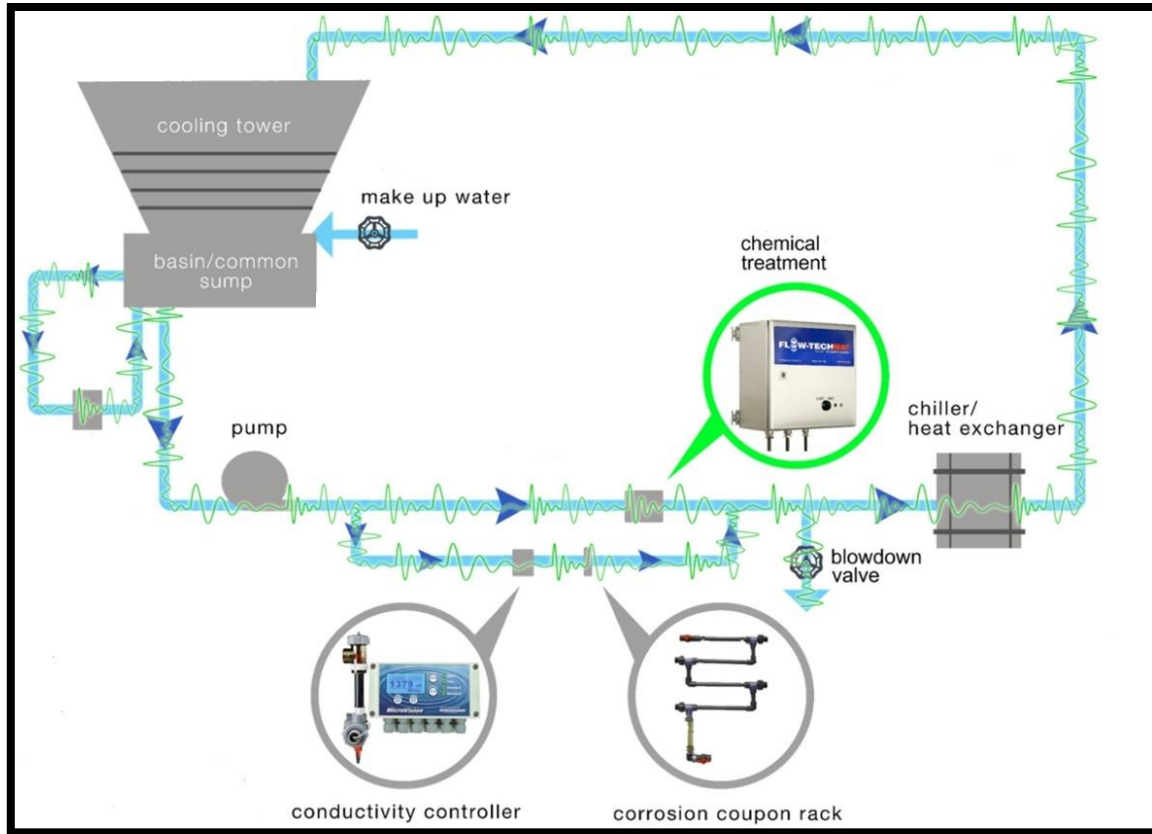
- التآكل العام (General (Uniform): وبالتأكيد يظهر على سطح الكوبون كاملاً.
- تآكل التنقير Pitting corrosion وهنا يجب فحص الكوبون من الجانبين وقد ينتج نتيجة الـ under – deposit corrosion.
- ظهور طبقة نحاس على سطح المعدن كانت ذائبة وارتبطت بسطح المعدن فتسبب تآكل جلفاني مثلاً Galvanic corrosion.

5- مساحة سطح الكوبون المعرض للماء surface area أو Exposed area of coupon هو عبارة عن 6 أوجه ونحسبه من معرفة الطول والعرض والارتفاع أو نأخذ القيمة من الورقة المرفقة مع شريط الكوبون كما قلنا.

6- نجد أن معدل التآكل في المياه المفتوحة حوالي 1 mpy

7- المواصفة 5 mpy حد أقصى في أبراج التبريد و 6 mpy للدوائر المغلقة ... وبعض الشركات تفضل 3 mpy والبعض يفضلها واحد وأقل من واحد! وهذا يتطلب المزيد من المصاريف لتفعيل المعالجة الكيميائية.

8- يمكن وضع عدة كوبونات في عدة أماكن في دائرة التبريد ... فالمياه الخارجة من البرج ويُعاد تدويرها إلى المبادل يتم وضع الكوبونات في طريقها لمتابعة المعالجة الكيماوية مثلاً. انظر الصورة التالية لدائرة تبريد واستنتج مكان وضع الكوبون:



والخبراء يقولون:

“Corrosion coupon rack must be located below water line in cooling tower basin so that is flooded at all times”

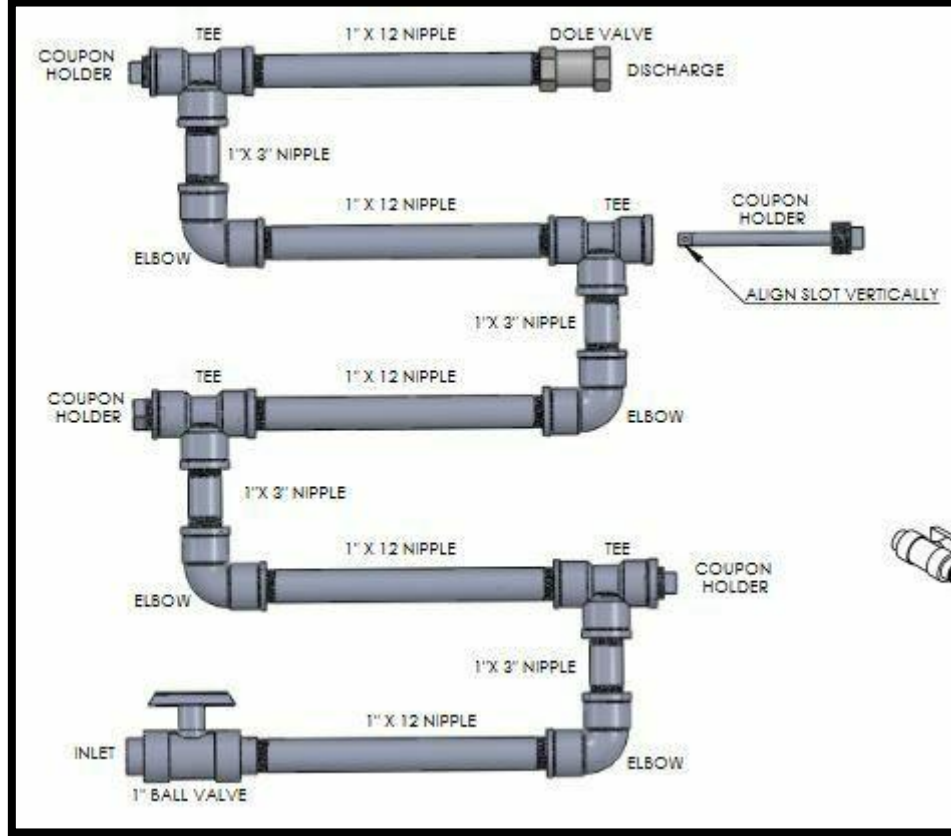
بمعنى أن أفضل مكان لوضع الكوبون هو الخط الخارج من الحوض السفلي لبرج التبريد (Return header) وقبل حقن الكيماويات وهذا الخط على الدوام مغمور بالمياه السارية ... وبالنسبة للشيللر أو المبادل الحراري يتم وضعه في الخط الراجع (المياه الأكثر دفئاً في الدائرة) ... وهناك من يفضل وضع الكوبون على خط خروج المياه من المبادل الحراري.

9- من الممكن طبعاً أن يحدث passivation للكوبون مثله مثل المعدن في المنظومة.

10- كما قسنا معدل التآكل بالكوبون نقيس معدل الScale ... الفرق هنا هو أننا نقيس الكوبون في القراءة الثانية قبل أن نغمره في الحمض ... وفرق الوزن يعبر عن معدل الScale ... لو كانت قراءة وزن الكوبون قبل 10 جرام وأصبحت 11 جرام معنى ذلك أن الرواسب زادت واحد جرام ... والحقيقة أن ذلك ليس دقيقاً جداً لأنه حدث تراكم للأملاح نعم ... ولكن حدث معه تآكل ... ولذلك كان الأدق أن نأتي بكوبون يقيس التآكل وآخر يقيس الScale والأخير يكون من النوع الذي لا يتآكل كالاستانلس ستيل (وبالطبع سيكون هناك حيود خفيف لاختلافه عن سطح المعدن الأصلي في دائرة التبريد ... ولكن هذا أقصى ما نستطيع فعله).

الهندس نادر النجار:

غالباً ما يتم وضع 4 كوبون في ال rack الواحد ... حيث يتم قياس التآكل كل شهر وثباته شهراً و9 شهور وأخيراً كل سنة.

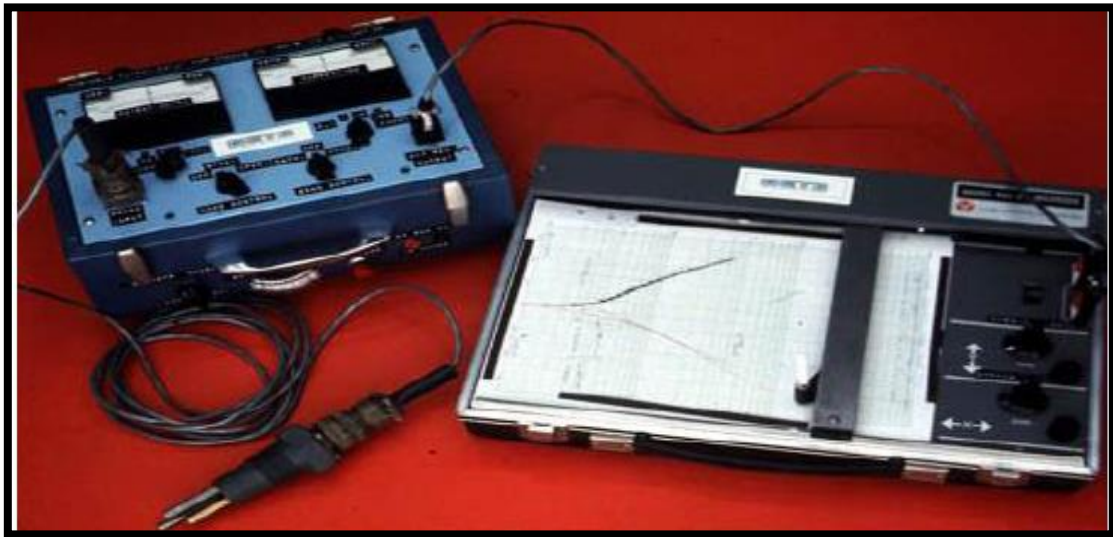
**عيوب هذه الطريقة:**

- 1- لا تقيس التآكل بدقة إنما نأخذ منها المتوسط فقط ... وعملياً في بعض الأحيان تفيدنا بأن الخطوط آمنة ولا يوجد تآكل ... وفي وقت 6 أشهر أو سنة نتفاجيء بالكارثة!
- 2- لو تم وضعها في منطقة أنابيب المبدل الحراري فإنها تضعف الانتقال الحراري نظراً لأنها لا تقوم بنقل الحرارة.
- 3- عدم سريان المياه على الكوبون لأي سبب من الأسباب (كتوقف الوحدة) يعطي معدل تآكل يصل لأكثر من عشر أضعاف الحقيقي.
- 4- التأثير على النتائج يأتي بسبب الإمساك بالكوبون باليد مباشرةً وترك آثار بصمة الاصابع عليها أو يأتي بتلوث من زيوت وشحومات تلتصق بالكوبون.

جهاز مقياس معدل التآكل:

جهاز ألكتروني اسمه Corratер يقيس التآكل وميل المنظومة لحدوث pitting corrosion في منظومة التبريد ... ويُعطي قراءة لحظية بوحدة ال mpy بدلاً من وضع الكوبون لمدة شهر في الدائرة ... كل ما في الأمر أنك تضع بروبة probe في مياه التبريد تحتوي على ألكترودات ... كما أنه يشعر بأي تغير مفاجيء في المنظومة التي تؤثر على التآكل مثل حدوث ضخ كمية كبيرة من الحامض ... وبهذا فهو يفيدنا في ضبط المعالجة الكيميائية وحقق مضادات التآكل.

انظر صورة الجهاز:



وهذا جهاز آخر يقيس معدل التآكل بال mpy اسمه Betz monitAll: يقيس التآكل مع ظروف نقل الحرارة ... يتم تدفق مياه التغذية عبر أنبوب ساخن داخل غلاف زجاجي شفاف ويوصل بسخان كهربائي ويتم تغيير معدل التدفق ودرجة الحرارة بحيث نقوم بعمل محاكاة لظروف دائرة التبريد أو البرج ... والأنبوبة مع الوقت نستطيع من خلاله الغلاف الزجاجي الذي يحيط بها ملاحظة حدوث التآكل عليها أو حدوث الترسبات الملحية.



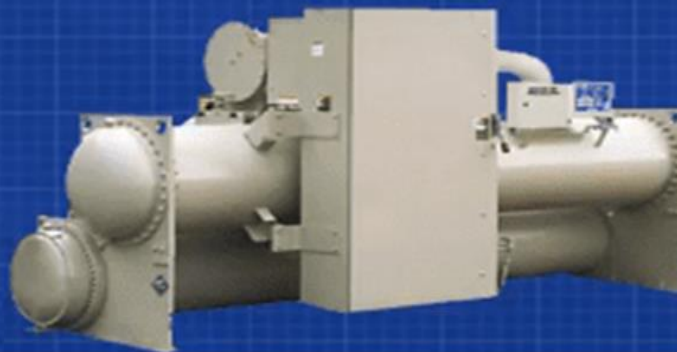


WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

Chillers

Water Cooled

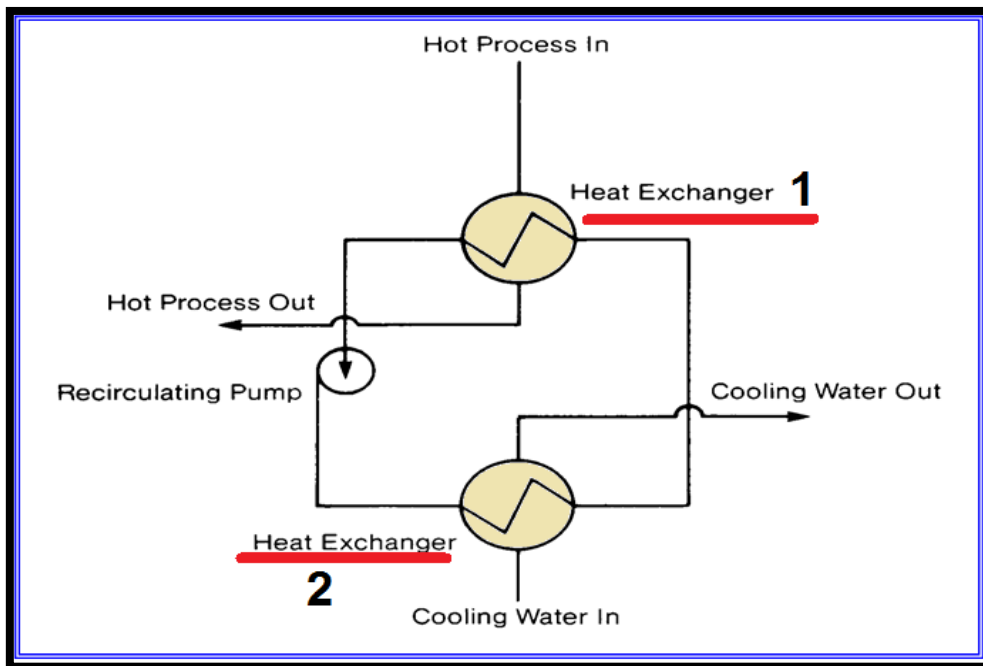


27

يوم في حياة
دائرة تبريد
مُغلقة!

النقاش السابع والعشرون:-27- يوم في حياة دائرة تبريد مغلقة

في زيارة سريعة إلى دائرة تبريد مغلقة closed loop نتعرف فيها على مياه التبريد Chilled water ومصدرها وآلية التبريد والمعالجة التي نحتاج إليها والمواد الكيميائية التي تُضاف إليها ... ذكرنا من قبل - وفي الإعادة إفادة - أنه من أحد أنظمة التبريد هو نظام التبريد المغلق التدويري أو ال Closed recirculating through cooling water system ... مياه التبريد تدور في دائرة وتكون معزولة عن الجو الخارجي يتم استخدام مياه في تبريد مُعدة أو منتج أو ... أو ... باستخدام مبادل حراري أو (Cooler) والمياه الخارجة من عملية التبريد يتم تبريدها هي الأخرى بمياه باردة ... ولذلك نستخدم 2 مبادل حراري واحد لتبريد المنتج أو المُعدة والثاني لتبريد المياه التي استخدمناها في التبريد وتسمى العملية الأخيرة Secondary cooling:



يتم تبريد الأخير بتبادل حراري مع مياه بحر مثلاً أو مياه مفتوحة أو مياه يتم تبريدها هي الأخرى بأنظمة مختلفة كتعريضها للتبخير والتكثيف أو تلامسها مع غازات تبريد كالفريون أو تبريد ببرج تبريد ... فيكون هناك طرف عبارة عن دائرة مغلقة وطرف ثاني هو برج التبريد مفتوح على الهواء الجوي ... وسنشرح ذلك في النقاش القادم مع الشيلر ... وهي وحدة من وحدات التبريد ... أحد أهم دوائر التبريد المغلقة.

لمهندس أيمن عوني عيد:

التشيلر دائرة مغلقة تستخدم في التكييفات المركزية وبعض الصناعات مثل صناعة الزيوت والسمن.

المهندس مدحت سعيد خليفة:

مثل رادياتير السيارة ... دائرة تبريد مغلقة.

سؤال لمتدرب:

سؤال لمتدرب: هل هناك فرق بين التشيير وبرج التبريد؟؟ أليس التشيير أحد أقسام أبراج التبريد؟

رد المهندس أحمد جمال:

التشيير وبرج التبريد يندرجان تحت قسم أنظمة التبريد أو التكييف لكن التشيير دائرة مغلقة إنما برج التبريد دائرة مفتوحة.

سؤال لمتدرب:

استفسار: اسمع كثيراً عن مصطلح (تشيير) هل المقصود به النظام المغلق؟؟؟

د المهندس أحمد حميدة سليم:

هو واحد من أنظمة التبريد المغلقة One of Closed cooling systems.

متى تُستخدم الدوائر المغلقة أو التشييرات؟

- 1- عندما يكون مصدر المياه محدوداً (كالمياه الجوفية) أو توفيراً لنفقات استهلاك المياه.
- 2- عندما تكون العمليات التي نحتاج فيها إلى التبريد لا تتحمل تغيرات قوية في ظروف التشغيل وتحتاج إلى تبريد ثابت أو تحتاج إلى سطح نظيف والذي يحدث فيه الانتقال الحراري.
- 3- إطالة عمر معدة التبريد لأن التحكم في التآكل corrosion هنا يكون أقوى من النظام المفتوح كما سنوضح بعد ذلك.
- 4- وجود قيود على discharge للهواء الصاعد من الأنظمة المفتوحة كأن يكون المكان ضيق أو محيط بمناطق مأهولة بالسكان.

لو ذهبنا في رحلة يومية لنزور "دائرة مغلقة" في أحد المصانع سيلفت انتباهنا عدة أمور:

- 1- مياه التغذية للدائرة المغلقة أو مياه التعويض هنا قد تكون عذبة soft water قادمة من مياه RO أو سوفتنر أو الإثنتين معاً ... وعسرها أقل من 5 جزء في المليون أو مياه بلدية City water أو مياه تعامل معها نظام التبادل الأيوني الصارم لتصبح مياه منزوعة الأملاح كلياً Demi- water.
- 2- المياه منزوعة الأملاح Demi-water لا تسبب التآكل بذاتها ولكن لأنها شرهة لإمتصاص ثاني أكسيد الكربون من الجو والذي يذوب ويتحول إلى حمض الكربونيك فيقلل الـ pH ويسبب التآكل ... ولذا يجب عمل بروتوكول معالجة خاص لمقاومة التآكل ... والمعادن المتوافقة مع المياه المنزوعة الأملاح لتفادي عملية التآكل هي:

Copper – Stainless steel – aluminum

- 3- و المعادن الغير متوافقة مع المياه المنزوعة الأملاح هي:

Brass - Carbon steel - Galvanized steel - Chromate steel

- 4- لا نحتاج لكمية كبيرة من مياه التعويض make up لانعدام التبخير تقريباً إلا في التسريبات leakage أو أماكن صمامات تحتاج لصيانة.
- 5- لا يوجد احتياج كبير للمعالجة الكيميائية لأن الدائرة مغلقة وتحفظ بالكيمائيات (تركيبية الماء تقريباً ثابتة) ... قد نقوم بالمعالجة كل 6 شهور أو سنة مع المتابعة لو كان هناك تهريب أو ترسيبات للمياه.
- 6- التشيلرات تحمل منظومات ترتفع حرارتها إلى 93 درجة مئوية وضغوط تصل إلى 200 psi (13 بار).
- 7- يعيب هذا النظام أنه عُرضة للتآكل وبه نمو بكتيري عالي خاصة لو تم استخدام مواد كيميائية تحتوي على عناصر مغذية من نيتروجين وفوسفات ... إلخ (مثل النيتريت المقاوم للتآكل أو التانين كذلك).
- ولكن التحكم في مشكلة التآكل أو تكون القشور كما قلنا أسهل من الأنظمة الأخرى لثبات كمية المياه نسبياً في هذا النظام المغلق كما ذكرنا ... كما أن احتمال التلوث البيولوجي من الخارج يكون ضئيل جداً ... أيضاً يسهل هنا التحكم في درجة الحرارة وتقليلها من 5 - 10 درجة مئوية.

من أسرار الكيمياء في دوائر التبريد المغلقة!:

الأملاح الكلية الذائبة TDS حدها الأعلى 2000 جزء في المليون في الأغلب.

وتركيز الحديد لا يجب أن يزيد عن 1 جزء في المليون إلا إذا كان عالياً في مياه التعويض من الأصل ... والنحاس يكون منعدم التركيز وإلا كان هناك تآكل.

لمقاومة التآكل على سبيل المثال يتم إضافة مانع للتآكل أشهره نيتريت الصوديوم NaNO_2 وقد تم الحديث عنه بالتفصيل في مقاومة التآكل

والتانين إذا تم إضافته بدلاً من نيتريت الصوديوم يكون ما بين 120 - 160 جزء في المليون متوسط وهو يقوم بصنع طبقة حماية جيدة ضد التآكل ومناسب للـ Absorption chiller والذي لا نستخدم فيه الصوديوم نيتريت وسنتكلم عنه في النقاش القادم.

أحياناً يتم إضافة مركبات السيليكا كمادة مقاومة للتآكل لرخص ثمنها.

يتم إضافة بايوسيد ضروري مع مانع التآكل (نيتريت الصوديوم) لأن المركبات النيتروجينية من المغذيات nutrients والتي تشجع على النمو البكتيري ... وتتغذى عليه البكتيريا أو تؤكسده ... والبايوسيد المضاف يجب أن يكون من النوع الغير مؤكسد حتي لا يؤكسده إلى نترات Nitrate هو الآخر!

وإليك باقة من المناقشات حول دوائر التبريد المغلقة!:

سؤال أحد المتدربين:

أريد أن أعرف لماذا يتم اضافة مضاد بكتيريا بالنظام المغلق close أليس النظام مغلَق؟؟
الشيء الثاني درجة الحرارة المرتفعة بالنظام المغلق ... أليست كفيلة بالقضاء على البكتيريا إن وجدت؟

رد المحاضر:

ومن قال أن النظام المغلق ليس به بكتيريا؟ تواجد البكتيريا فيه محتمل ... ويتأكد عندما تضع مادة مثل النيتريت أو التانين كمادة مضادة للتآكل والتي تعتبر مواد غذائية عظيمة للبكتيريا تحفز نموها وتكاثرها .
مياه التغذية - وإن كانت كميتها أقل مقارنةً بالنظام المفتوح - هي مصدر أساسي للبكتيريا حتى لو كانت مياه شرب ومعقمة! طبعاً ... لا يوجد مياه شرب معقمة تُعطي zero bacteria أو zero virus ...
وقد ضربنا مثل من قبل عن مياه البلدية city water فيها كلور حر 0.5 جزء في المليون ... معنى ذلك أنه لا يوجد بكتيريا ... تستطيع أخي الكريم أن تتركها في زجاجة شفافة في ضوء الشمس مدة 3 - 4 شهور ستجد لوناً أخضر بدأ يتكون في القاع ... طحالب لا شك ... من أين جاءت الطحالب؟؟ لا أحد يقول لي أنها جاءت من الهواء !! لا ... إنما جاءت من الحقيقة التي تقول أن الكلور أو أى مادة معقمة لو قتلت الميكروبات تكون بنسبة حتى لو وصلت إلى 99.99% ... ويتبقى 0.01 من الممكن أن ينمو ويتكاثر مرة أخرى لو وجد البيئة المناسبة ...

بالنسبة للحرارة لو ارتفعت عن ٦٠ أو ٧٠ درجة مئوية من المحتمل جداً موت البكتيريا بالفعل لدرجة أننا من الممكن أن لا نضع بايوسايد (ذكرنا ذلك في مقاومة النمو البيولوجي أو البايوفاولينج).

سؤال أحد المتدربين:

لماذا نيتريت الصوديوم يعتبر بيئة مناسبة للبكتيريا وقد تتغذى عليه؟؟ هل يوجد سبب علمي؟؟؟

رد المحاضر:

هناك قاعدة في علم البيولوجي الخاص بالكائنات الدقيقة ... أى مركب فيه نيتروجين أو فوسفور أو كربون (أو سيليكات مع بعض الكائنات) يعتبر غذاء أساسي أو عناصر تدخل في تركيب الخلايا ... وتستطيع أن تقرأ في أى مرجع يتحدث عن التلوث المائي أو ظاهرة الـ blooming أو ازدهار الطحالب أو البكتيريا في الماء بسبب تلوث بأحد هذه العناصر أو مركباتها.

سؤال أحد المتدربين:

ما تأثير البكتيريا اللاهوائية في النظام المغلق؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

التمثيل الغذائي للبكتيريا اللاهوائية ينتج عنه مادة كبريتيد الهيدروجين H_2S وطبعاً فهو له رائحة كريهة جداً ... وكذلك يتحول إلى حامض الكبريتيك والذي يسبب التآكل والبكتيريا اختصاراً تُسمى SRB أي:

Sulfur reducing bacteria

سؤال أحد المتدربين:

أفضل pH للتشيلر المصنوع من النحاس أو الألومنيوم أو mild steel من 8 – 8.5 فماذا يتم مع وضع الصوديوم نيتريت التي ترفع البي إتش عن ذلك؟؟

رد المهندس أحمد أحمد ماضي:

(في هذه الحالة) قم بتخفيف تركيز ال sodium nitrite (وبالحدود المسموح بها).
وال sodium Molybdates أيضا تستخدم في حالة الدوائر دائمة التسريب.

سؤال أحد المتدربين:

ما هي العوامل المؤثرة على كفاءة نيتريت الصوديوم عند استخدامه كمانع تآكل ؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

أملاح الكلوريدات تؤثر على كفاءة النيتريت أي كل ١ جزء في المليون من أملاح الكلوريدات يحتاج ٢٥ جزء في المليون من النيتريت تبعاً للمواصفة البريطانية British standard. ويجب أن يكون تركيز النيتريت في الدائرة من ١٠٠٠ - ١٢٠٠ جزء في المليون حسب المواصفات البريطانية.

سؤال أحد المتدربين:

هل معالجة مياه أبراج التبريد هي نفسها معالجة مياه التشيلرات وأنظمة التكييف المركزي أم مختلفين؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

مختلفين ... هناك كيماويات تصلح للإثنين مع اختلاف كمية الإضافة ... فالكيماويات المستخدمة في الدوائر المغلقة مثل: الفوسفونات - النيتريت - الموليبيدات - التانين ... أما أبراج التبريد يكون فيها: الفوسفونات - الموليبيدات - الزنك - والفوسفات في الدوائر المفتوحة الكبيرة لرخص ثمنه ... وسترى بعض التشابه في الكيماويات المستخدمة والاختلاف في كمية الإضافات.

رد المهندس سلمان الفارسي:

بالنسبة لدوائر التشيلر تعتمد في المعالجة على إضافة كيماويات مانعة للتآكل ومثبطات تكوّن البكتيريا ... وتكون الإضافة مرة واحدة لأنها دائرة مغلقة إلا في حالة حدوث فقد في المياه نلجأ لإضافة كيماويات معالجة أو ارتفاع نسبة الحديد مما يضطر لإجراء عملية غسيل بالكيماويات.

كيماويات مانعة التآكل للتشيلرات في حالة Absorption chiller نستخدم التانين وفي حالة التشيلرات العادية من الممكن أن نستخدم التانين أو النيتريت أو الموليبيدات.

النيتريت لا يستخدم مع ال absorption chiller لأن المادة المستخدمة في التبريد هي الليثيوم بروميد ويستخدم معها التانين لأنها مادة عضوية وعند حدوث أي ترسيب يسهل فصل الليثيوم بروميد عن التانين (مادة غير عضوية مع مادة عضوية).

يقول المهندس سلمان الفارسي:

كيماويات المعالجة في التشيلرات على حسب نوع التشيلر:

1- في حالة ال absorption chiller يتم إضافة مانع تآكل هي مادة التانين.

2- في حالة التشيلر العادي يتم إضافة مانع تآكل هي مادة التانين أو النيتريت.

يتم إضافة موليبيدات في حالة استخدام الألومنيوم ... وسعره مرتفع.
و يتم إضافة مُثبِّط نمو البكتيريا مثل الأيزوسيازولين أو كواترني أمونيم سولت Quats.

سؤال لمتدرب:

أستفسر عن موضوع الpassivation في التشيلر.

رد المهندس أيمن عوني عيد:

يتم باستخدام النيتريت (900-1200 جزء في المليون حد أقصى) أو التانين (120 - 160 جزء في المليون حد أقصى) أو الموليبيدات.

سؤال لمتدرب:

هل فعلاً النظام المُغلق لا يحتاج إلى معالجة كيميائية مستمرة؟ وما هو السبب؟

رد المهندس سلمان الفارسي:

الدوائر المُغلقة معالجتها تكون مرة واحدة إلا إذا حدث فقد في المياه فتحتاج لأن تُضيف كيماويات معالجة علي حسب نسبة الفقد أو في حالة ارتفاع نسبة الحديد الذائب تضطر وقتها أن تُفرغ الدائرة و تغسلها وبعد الغسيل تُضيف كيماويات المعالجة.

سؤال لمتدرب:

كيف يحدث فقد في المياه وهي أصلاً دائرة مغلقة؟؟؟؟

رد المهندس أحمد جمال:

الفقد يأتي من أسباب كثيرة ... يأتي من تسريب أو صيانة أو فتح الخط لأي ظرف.

رد المهندس عماد حمدي الملاح:

مشاكل ميكانيكية في الغزل الميكانيكي Mechanical seal وتسريب المياه (بأي معدات).

رد المهندس سلمان الفارسي:

المحابس قد يحدث فيها تسريب "بتليك" Leakage ... أو في بعض الحالات عندما يتم عمل صيانة للتشيلر أو وحدات المناولة أو أي جزء آخر نحتاج فيه إلى تفريغ المياه حتى أقرب محبس بالنسبة للجزء المُراد صيانته ... والطبيعي أنه لا يحدث فقد في المياه طالما لا يوجد تسريب أو صيانة ... وأي دائرة شيلر يتم تركيب تنك تمدد expansion tank عليها حتى يُحافظ علي ضغط الدائرة بحيث لو انخفض بسبب حدوث فقد للمياه يتم تعويضها حتي يصل لضغط التشغيل المطلوب للشيلر.

سؤال لمتدرب:

يسأل عن السر في عدم امكانية استخدام الكلور كبايوسايد في الدوائر المُغلقة

رد المهندس مدحت سعيد خليفة:

السبب هو وجود النحاس في تركيب الدائرة في الغالب ... والنحاس يزداد تأكله عند زيادة الكلورين الحر free chlorine عن 1 جزء في المليون حتى لو تم استخدام مانع تأكل للنحاس copper corrosion inhibitor

رد المُحاضر:

النيتريت أيضاً يهاجم معدن النحاس! ولذلك يجب استخدام بديل له في الشيلر! مثل التانين.

رد المهندس أيمن عوني عيد:

موانع تآكل النحاس تكون موجودة في التركيبة مثل TTA أو BTA ... وأيضاً فيه مواد مشتتة زي فوسفونات والأكريليك ولكي تُحافظ علي النحاس تحافظ علي pH أكثر من ١٠

Benzotriazole - Methylbenzotriazole

المُحاضر:

لو عقدنا مقارنة بين التانين والنيتريت ... كفة من سترجح؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

التانين أفضل أكيد لكن فيه مشكلة صغيرة وهي ارتفاع نسب الـ sludge في وجود التانين فنكون مضطرين لغسل الدائرة كل ٦ شهور.

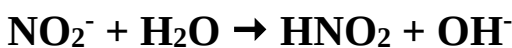
أيضاً التانين غذاء رائع للبكتيريا أيضاً مثل النيتريت ... ويكون بنسبة من ١٢٠-١٦٠ جزء في المليون ويجب أن يكون معه biocides وبوليمر لمنع الترسيبات.

سؤال طرح في المنتدى:

دائره تبريد مغلقة تُعالج بالنيتريت ... وكانت النتائج في المعدلات المطلوبة و تم ادخال هواء بالدائرة أدى إلى انخفاض تركيز الكيماويات بسبب تحول الـ NO₂ الى NO₃ ... وكان التركيز 350 جزء من المليون وكذلك ارتفاع تركيز الحديد ... ولكن السؤال حدث انخفاض في قيمة الرقم الهيدروجيني بعد أن كانت 9.6 ... ما هو السبب انخفاض تركيز الـ NO₂ أم هناك تأثير للـ NO₃ في قيمة الرقم الهيدروجيني ... علماً بأن الأملاح ثابتة وتساوي 1400 جزء في المليون من ضمنها 300 جزء في المليون نيتريت والقياسات العملية تمت بجهاز "مايرون" المُعاير و pH paper.

رد المُحاضر:

ما المشكلة؟ هذا طبيعي ... الصوديوم نيتريت تستخدم ككاسح للأوكسجين في المنظومة المُغلقة حتى نصل به إلى تركيز صفر لمقاومة التآكل ... مبدئياً ذوبان الصوديوم نيتريت في المياه يرفع الـ pH لزيادة أيون الهيدروكسيل كما تجد في التفاعلات التالية:



عندما فتحت المنظومة دخل هواء - وطبعاً هذا خطأ لأن الدائرة يجب أن تكون مُغلقة - وحدث أكسدة للنيتريت إلى نترات nitrate فزاد تركيز الأوكسجين فلم يعد هناك مقاومة للتآكل فظهر الحديد ... وانخفض تركيز الهيدروكسيل وانخفضت البي إتش.

وعن الإيثيلين جليكول واستخداماته في دوائر التبريد تحدث الزملاء:

أيضاً في حالة وصول المياه لدرجة التجمد يتم إضافة مركب الجليكول من نوع المونوجليكول الذي يمنع تجمد الماء إذا وصلت للصفر المئوي antifreeze ويقلل درجة التجمد freezing point عن الصفر ... وكلما أضفنا جليكول زيادة كلما قلت درجة التجمد ... (وهو يُضاف للرادياتير في السيارات في المناطق الباردة كي يمنع تجمد المياه داخله) ... ونسبة اضافته تبعاً لدرجة حرارة الدائرة التي تصل إليها (تقريباً 10% من حجم الدائرة إذا وصلت الحرارة للصفر المئوي) ونزيد هذه النسبة كلما انخفضت درجة الحرارة ... ويمكن استخدام هذه المعادلة في حساب كمية الجليكول المطلوبة:

Amount of Glycol Addition

The amount of glycol addition required may be determined by the following formula after the volume of the system is determined:

$$G = V \times (100/P) \times (CD - CP)/(100 - CP) \quad (6)$$

where,

G: volume of glycol to be drained & added, litres

V: volume of system, litres

P: purity of fresh glycol, vol%

CD: desired glycol concentration, vol%

CP: present glycol concentration, vol%

وانظر إلى هذا الرابط أيضاً لحساب الجليكول:

<http://www.nucalgon.com/glycolcalculator>

سؤال لمتدرب:

سؤال خارجي ... بالنسبة للجليكول وهو مانع للتجمد لماذا يستخدم أحياناً كترزييت لطللمات حقن الحامض؟؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

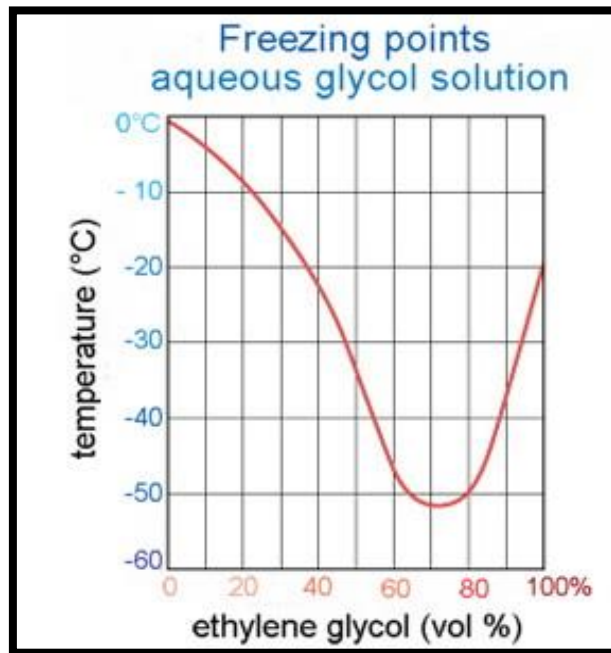
الجليكول من المواد مانعة التجمد وله صفة التزييت أيضاً كمانع للتآكل.

سؤال لمتدرب:

متى نستخدم مياه فقط ومتى نستخدم مياه مع مونو ايثيلين جليكول؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

في الدوائر المغلقة عندما نحب أن نقلل درجات الحرارة إلى تحت ٥ درجة مئوية نستخدم الجليكول سواء كان جليكول مخلوط أو مونو أو داي ايثيلين وتضاف النسبة من الجليكول حسب احتياجك لدرجة الحرارة.

سؤال لمتدرب:

بالنسبة للتشيلر.... المفترض أنه يستطيع التبريد حتى كم درجة؟ بمعنى أدق المدى Range الذي يعمل فيه ... من كم لكم؟

المهندس سلمان الفارسي:

يعمل الإيثيلين جليكول حتى الدرجة التي تريدها لكن الدرجة التي تصل إلى السالب تضطر أن تُضيف جليكول الذي يستخدم كمانع للتجمد ... وكلما انخفضت الدرجة كلما زادت نسبة الجليكول المضافة ... وهناك جدول يوضح نسبة الجليكول بالنسبة المئوية % سواء بروبيلين أو إيثيلين جليكول مع درجة الحرارة ... ولا توجد علاقة رياضية لكن لكل درجة حرارة نسبة مئوية معينة وتختلف في النسبة من المونو ايثيلين جليكول عن المونو بروبيلين جليكول ولا بد من الأخذ في الاعتبار كثافة الجليكول حتي يتم تحويل النسبة من لترات الي كيلو جرام.

رد المهندس أحمد حميدة سليم أمدنا بالجدول:

Propylene Glycol			
% Volume	Freeze Point (°F)	% Volume	Freeze Point (°F)
0	+32	34	+4
1	+32	35	+2
2	+31	36	+1
3	+31	37	-1
4	+30	38	-3
5	+30	39	-4
6	+30	40	-6
7	+29	41	-8
8	+28	42	-10
9	+28	43	-12
10	+27	44	-14
11	+27	45	-16
12	+26	46	-18
13	+25	47	-20
14	+24	48	-22
15	+24	49	-25
16	+23	50	-27
17	+22	51	-29
18	+21	52	-32
19	+20	53	-34
20	+19	54	-36
21	+19	55	-39
22	+18	56	-41
23	+17	57	-47
24	+16	58	-50
25	+15	59	-53
26	+14	60	-56
27	+13	61	-58
28	+12	62	-60
29	+11	63	< -60
30	+9	64	< -60
31	+8	65	< -60
32	+7	66 - 99	< -60
33	+5	100	-74

الدكتور أحمد أنور أحمد:

معروف استخدام الإثيلين جليكول في دوائر التبريد المغلقة بغرض منع تجمد المياه داخل الدوائر والمحافظة على سريانها وله أيضاً كغيره من المواد العضوية خصائص مثبط التآكل وإن كنا لا نعول عليه كثيراً في تلك الخاصية سواء مشاركته في تقليل كمية الأكسجين وبالتالي تقليل أحد عوامل التآكل الثلاثة أو مشاركته في الكثافة الإلكترونية الضعيفة على أسطح المعادن

ولكن السؤال عن استخدامه في دوائر التبريد المفتوحة ... فلي سابقة تعامل في وضع برنامج لإحدى دوائر التبريد كانت درجة حرارة الماء حسب التصميم المعطى = صفر درجة مئوية (حالة تجمد للماء) ... هذه الدرجة فعلياً لا تصل لها الماء في هذا البرج خاصة مع سريان المياه وتسخينها داخل المبادلات ... ورغم ندرة حدوثها لكن لا يجب إغفال التصميم على أى حال ... وعليه ... نضطر لإضافة مانع التجمد (إثيلين جليكول) كما حسب ما هو مذكور في المراجع السابقة ... هذا يزيد فقط في تكلفة الكيماويات ولا يؤثر سلباً على النتائج.

وبالنسبة للنسبة المئوية المصرح بها داخل الأبراج المفتوحة لم يمر على أبداً نسبة مصرح بها داخل أبراج التبريد ... ولكن يمكن اعتبار ال Blow-down هو المقياس ... وعليه السؤال ماهي الحدود المسموح في ال waste water؟
هذه معلومة من كتيب يخص منظمة الصحة العالمية:

[Ethylene glycol has generally low toxicity to aquatic organisms. Toxic are above 1000 mg/liter. EC50s for growth in thresholds for microorganisms micro-algae are 6500 mg/liter or higher. Acute toxicity tests with aquatic invertebrates where a value could be determined show LC50s above 20 000 mg/liter, and those with fish show LC50s above 17 800 mg/liter. An amphibian test showed an LC50 for tadpoles at 17 000 mg/liter. A no observed effect concentration (NOEC) for chronic tests on daphnids of 8590 mg/liter (for reproductive endpoints has been reported. A NOEC following short-term exposure of fish has been reported at 15 380 mg/liter for Growth]



Chilled Water System



تکلیفات

الشيلر!!!

النقاش الثامن والعشرون:-**28- تكييفات التشيلر ومناقشات حول دورات التبريد المغلقة!**

بعض أنظمة التكييفات المركزية في المباني العملاقة يعتمد على نظام التشيلرات Chillers! هذه الأنظمة يحدث فيها أحياناً الدمج بين أبراج التبريد والتشيلرات! التشيلرات Chillers يعني مبردات ... نظام أو جهاز يتم فيه تبريد مادة ... هذه المادة هي نفسها تستخدم في التبريد وتسمى refrigerant أو وسيط التبريد ... قد تكون سائل مثل الماء أو غاز مثل غاز الفريون ... هذا الوسيط يستخدم في تبريد هواء الغرف بالمبنى العملاق! من فضلك أطلب منك التركيز لأن الموضوع سهل لكن يحدث "الخبطة" لأنك ستجد منطقة فيها هواء يُبرد ماء ومنطقة فيها ماء يُبرد هواء ومنطقة فيها مياه تُبرد مياه تُبرد فريون أو فريون يُبرد ماء أو فريون يُبرد هواء!! ...

**فما هي الفكرة باختصار؟**

نحن نريد خفض درجة حرارة الهواء بالغرف في أحد المباني السكنية الكبيرة باستخدام التكييف المركزي! ... اتفقنا ...

ركز في الفقرة التالية ... إذا فهمتها ستفهم ما بعدها بسهولة:

{سنستخدم التشيلر ... المادة داخل التشيلر هي وسيط التبريد (يتم تبريدها بواسطة مياه متصلة ببرج تبريد) ... وهي نفسها بعد تبريدها تستخدم في تكييف المبنى ... المادة المُبردة للمبنى هي refrigerant ... كيف يُستخدم وسيط التبريد في التشيلر في تبريد المادة المُبردة لتبريد المبنى؟؟ ...

إما أن يكون وسيط التبريد داخل التشيلر مياه وهذه المياه تُبرد الهواء الذي يعمل على تبريد حجرات المبنى ... وإما أن يكون وسيط التبريد داخل التشيلر مياه وهذه المياه تُبرد فريون يستخدم في تبريد هواء المبنى ... أو أن يكون وسيط التبريد داخل التشيلر هو نفسه فريون وهذا الفريون يُبرد الهواء الذي يعمل على تبريد المبنى ... أو يبرد مياه تستخدم في تبريد الهواء الذي يعمل على تبريد المبنى { وقُل ما شئت بعد ذلك!

هناك نظامان أساسيان من التشيلر:

1- تشيلر تبريد بالهواء Air-cooled chiller.

2- تشيلر تبريد بالمياه Water-cooled chiller.

والفرق بينهما واضح! الأولي يتم تبريد المادة المُبردة refrigerant بالهواء والثانية يتم تبريدها بالماء! الأولي تستخدم مراوح شفط لإمرار الهواء على المادة المُبردة لتبريدها والثانية تستخدم برج تبريد لتبريد المياه التي تبرد المادة المُبردة!

الأجزاء الرئيسية في التشيلرات:

قبل أن نتحدث عن تشيلر التبريد بالهواء أو المياه نتحدث عن الأجزاء الرئيسية في التشيلرات بأنواعها وهي في الحقيقة تتكون من أربع أجزاء:

1- الضاغط compressor.

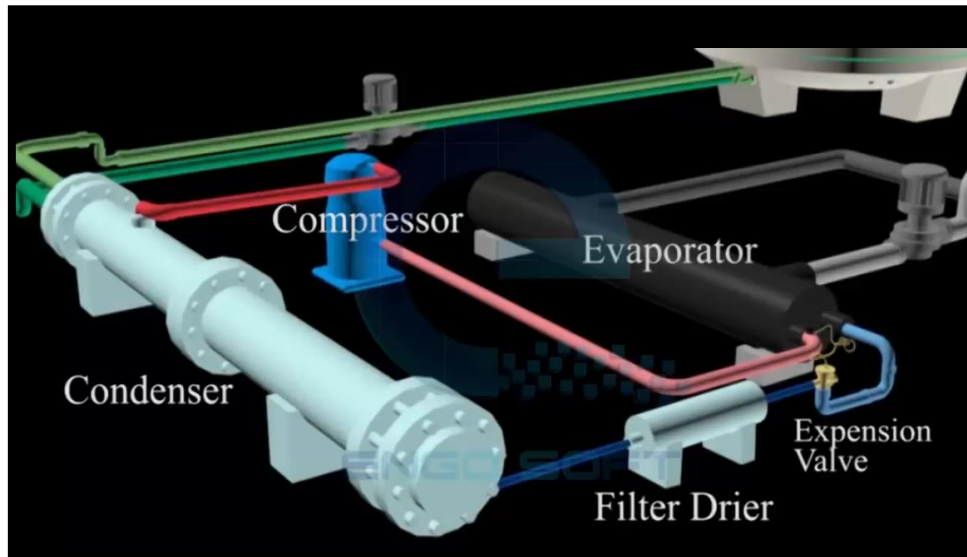
2- المكثف condenser.

3- المُبخر evaporator.

4- صمام التمدد expansion valve.

وهناك أجزاء أخرى لا تهملنا الآن مثل الفلتر المُجفف Filter drier بعد المكثف ولوحة التحكم control panel و.... و....

الفكرة العلمية ببساطة اقرأها وأنت تنظر إلى الصورة التالية:



الفكرة أن المادة السائلة في التشيلر (وسيط التبريد) عندما نسمح لها بالتمدد بخفض الضغط عليها حيث تساعد الذرات أو الجزيئات أن تتحرر لتنتقل إلى الحالة الغازية فإنها تتبخر ... يحدث ذلك في المُبخر evaporator ... يعني تتحول إلى الحالة الغازية وهذا التحول يحتاج لامتناس حرارة من الوسط حولها ... واثناء تبخرها تأخذ حرارة من الوسط المحيط والذي فيه إما هواء التبريد الذي يستخدم في تبريد المبنى السكني أو مياه تُبرّد وتُدفع إلى المبنى السكني لتبرد الهواء هناك بتبادل حراري من خلال coils! ... وعملية تقليل الضغط يتم بعمل أشبه بعملية التفريغ vacuum وهذا يتم عن طريق ضاغط compressor الذي يلي المُبخر ويسحب كمية من الوسط حول المادة السائلة في المُبخر evaporator فتتبخر.

الضاغط على الجانب الآخر بوظيفة أخرى له يضغط وسيط التبريد المتبخر ليضعه في الأستاذ "مكثف"! حيث يحدث تبريد لوسيط التبريد ويتكثف ... والتبريد هنا يكون بالماء المُتصل ببرج التبريد ثم يتم انتقال وسيط التبريد المُبرد المضغوط إلى صمام التمدد الذي يسمح له أن يتمدد فيعمل على تقليل الضغط عليه ليتنفس الصعداء في المُبخر مرة أخرى ويتبخر من جديد بمساعدة الضاغط الذي يسبب التفريغ تتبخر المادة المُبردة مرة أخرى في المُبخر وتسحب حرارة من الهواء المستخدم في تبريد المبنى وهكذا تدور الدائرة.

صمام التمدد أيضاً يُنظم مرور المادة المُبردة من المكثف إلى المُبخر ...

الضاغط Compressor هنا كما يظهر له ثلاث وظائف:

- 1- يقلل الضغط على المادة المُبردة في المُبخر فتتبخر (بعمل تفريغ) كما قلنا.
- 2- رفع درجة حرارة وضغط المادة المُبردة (الحرارة والضغط يتناسبان طردياً).
- 3- العمل على تدوير المادة المُبردة في دائرة التشيلر.

وهناك أنواع من الضواغط:

- 1- Scroll: لتبريد الهواء
- 2- Screw: لتبريد الماء والهواء
- 3- Centrifugal: لتبريد الماء فقط

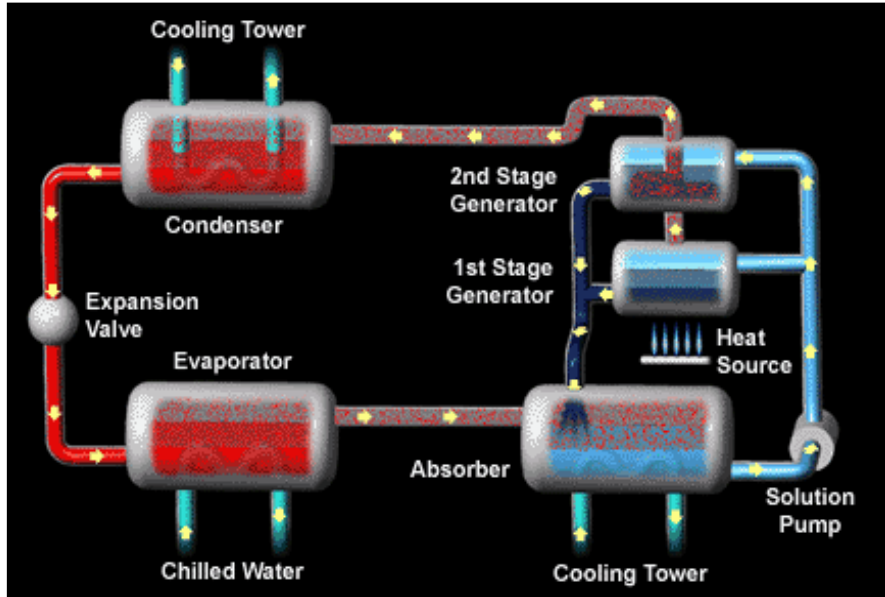
ما هو تشيلر الإمتصاص Absorption chiller ؟

يوجد نوع من الشيلرات يعتمد على ما يُسمى التبريد بالامتصاص absorption refrigeration ... في الشيلر العادي قلنا أننا نستخدم الضاغط compressor في سحب البخار من المُبخر evaporator ... لا ... هنا سنشكر الضاغط هنا ونستغني عنه ونستبدله بمعدة "ماصة للبخار" تمتص البخار الخارج من ال evaporator وتُسمى بال absorber ... وهذا ال absorber يحتوي على محلول له القدرة على امتصاص البخار بل وتحويله إلى سائل!

ولذا ستختلف المنظومة عن التشيلر العادي فقد استبدلنا الضاغط بال absorber!

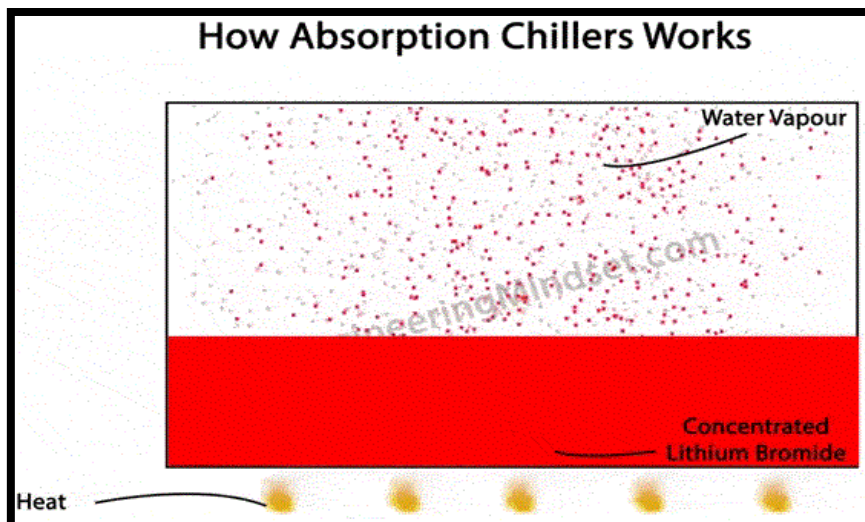
المادة الماصة قد تكون الأمونيا ... ولو تم استخدام مادة الليثيوم بروميد Lithium bromide كمادة ماصة (أفضل لأنها أكثر أماناً على صحة الأفراد وعلى البيئة وغير سامة) فالتشيلر هنا يُسمى water lithium bromide chiller (وكان يتم استخدام بروميد البوتاسيوم في بعض الأنظمة).

هذه صورة لتشيلر الإمتصاص توضح ما قلناه:

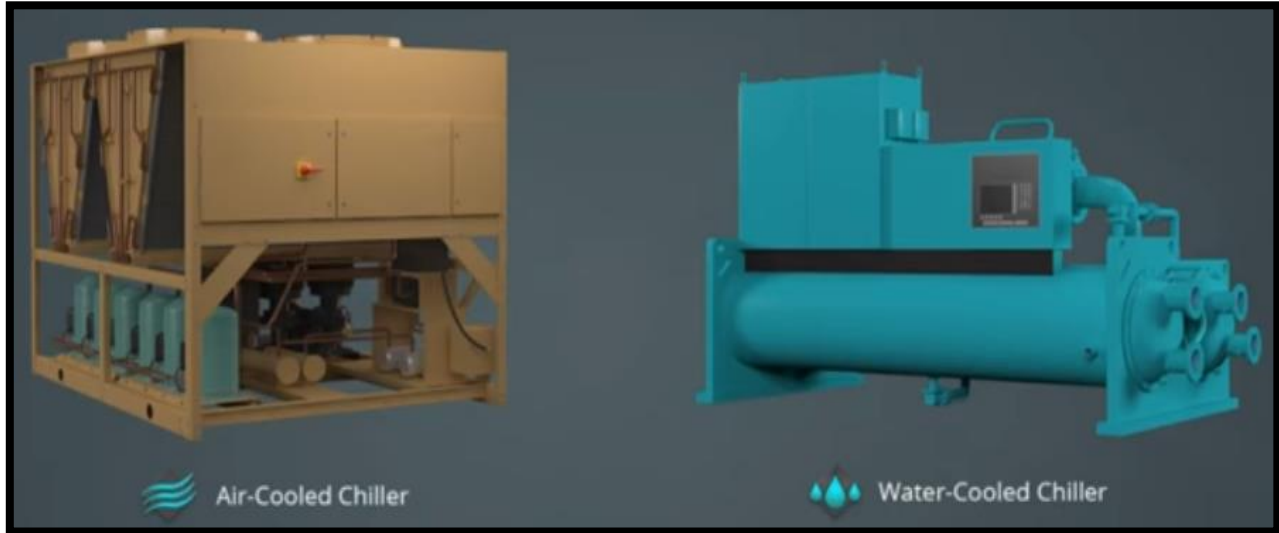


نلاحظ هنا استخدام برج التبريد في أمرين ... التبريد على المكثف condenser وهذا هو المعتاد كما ذكرنا من قبل ... والجديد هو التبريد على الـ absorber!

ما يحدث باختصار هو أنه يتم خلط بروميد الليثيوم ببخار الماء القادم من المبخر (حوالي 50% - 50%) تبعاً للتوصيات) ... وبخار الماء هذا يتم تبريده وتكثيفه باستخدام برج تبريد يعمل على الـ absorber ... بعد خلط بروميد الليثيوم ببخار الماء نعمل على فصلهما للحصول على الماء الذي نضخه في المكثف ليدور في الدائرة مرة أخرى ... طريقة الفصل يكون برفع درجة الحرارة مرة أخرى للخليط ... فيتم ضخ الخليط في مبادل حراري فتتفصل المياه وتتحول إلى بخار كما يظهر في الصورة ويتركز بروميد الليثيوم في القاع:

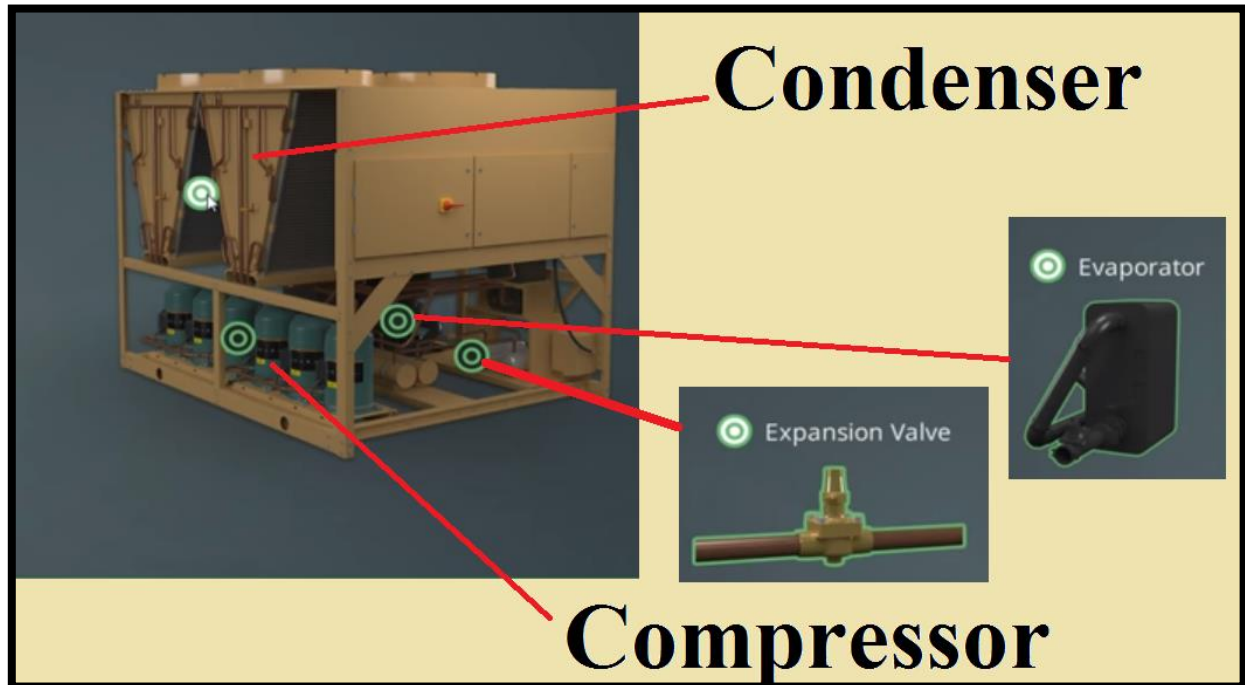


والآن بعد أن عرفنا أجزاء التشيلر نتحدث عن النوعين ... تشيلر التبريد بالهواء وتشيلر التبريد بالماء ... انظر الصورة التالية:

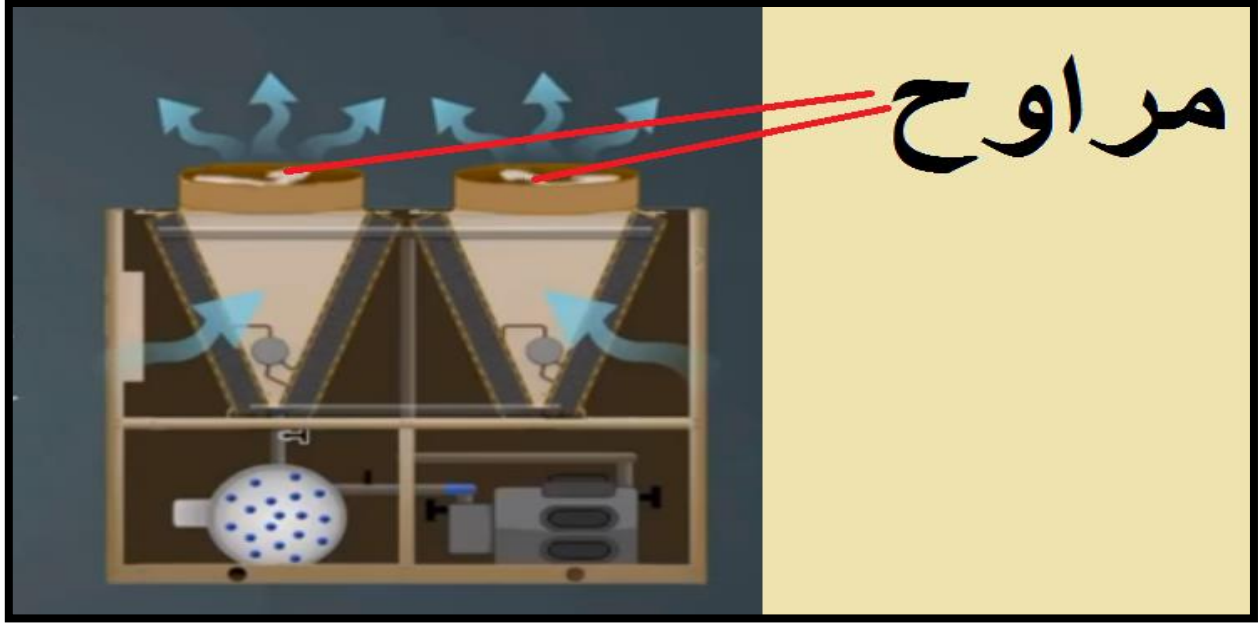


1- تشيلر تبريد بالهواء Air-cooled chiller :

وفيها يتم تبريد المادة المُبردة refrigerant بالهواء ... انظر إلى أجزاء تشيلر التبريد بالهواء:



مراوح الشفط في المنطقة العليا من متكثف التشيلر تسحب هواء ليمر على ملفات coils داخله وبها المادة المُبردة ليحدث انتقال الحرارة إلى الهواء ومنه إلى الهواء الجوي وتتحول المادة المُبردة من حالة البخار الساخن إلى السائل المتكثف البارد:

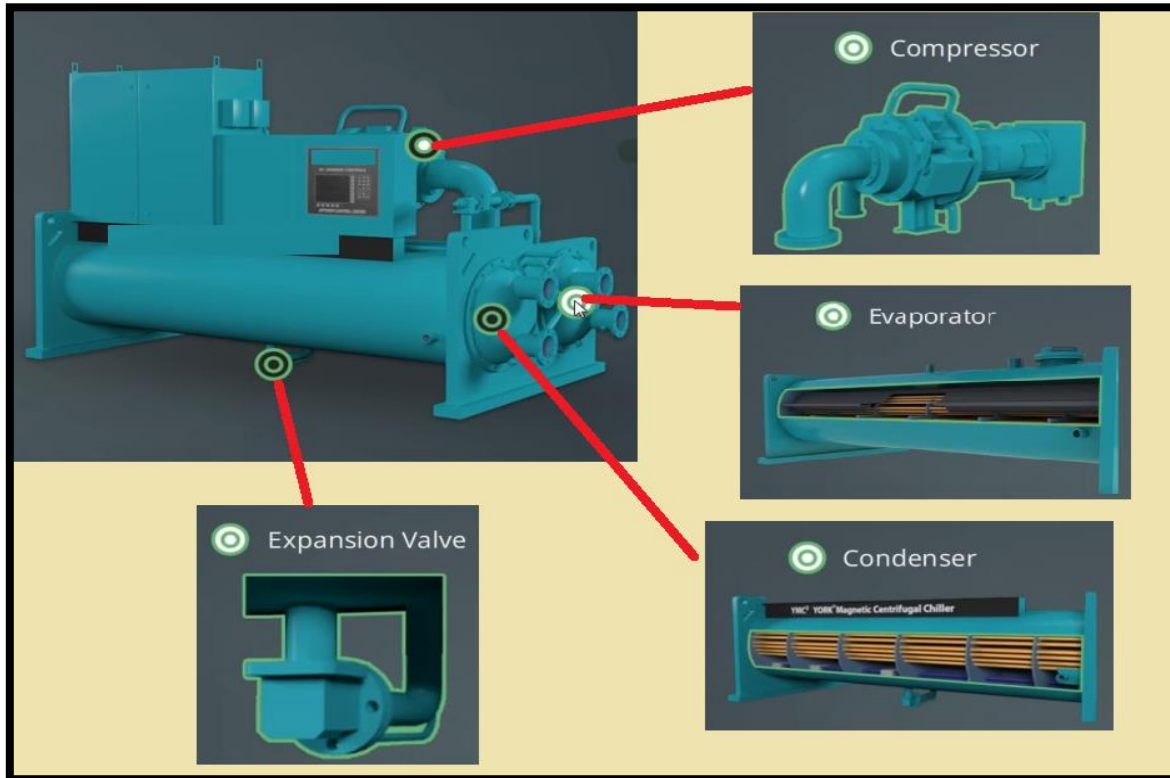


والصورة التالية منظر لوحدة تشيلر تبريد بالهواء **air cooled chiller** مستخدمة لتكييف المبنى السكني حيث المياه التي يتم تبريدها من خلال ال **evaporator** بالتبادل الحراري مع الهواء في دائرة التشيلر وتُسمى هذه المياه بال **chilled water** ... هذه ال **chilled water** يتم ضخها مرة أخرى بعد التبريد في التشيلر بواسطة مضخة **pump** إلى وحدات مناولة الهواء **air handling units** ... ووحدات مناولة الهواء هي أجهزة تثبت داخل المبنى وتستقبل وترسل المادة المُبردة من وإلى التشيلر لتبرد به الهواء إلى داخل الغرف.

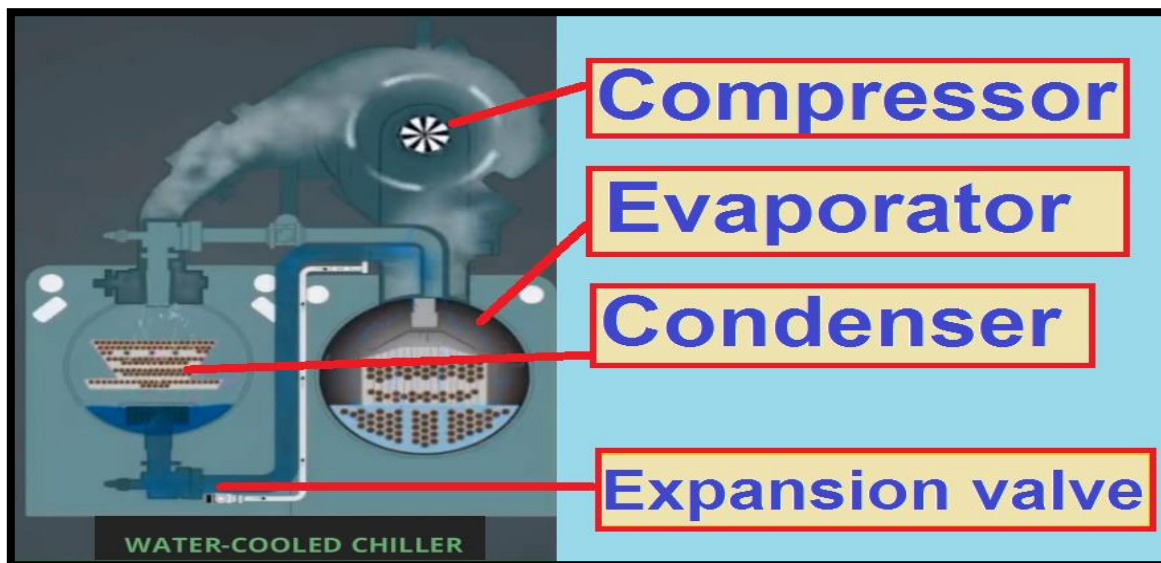


2- تشيلر تبريد بالماء Water-cooled chiller :

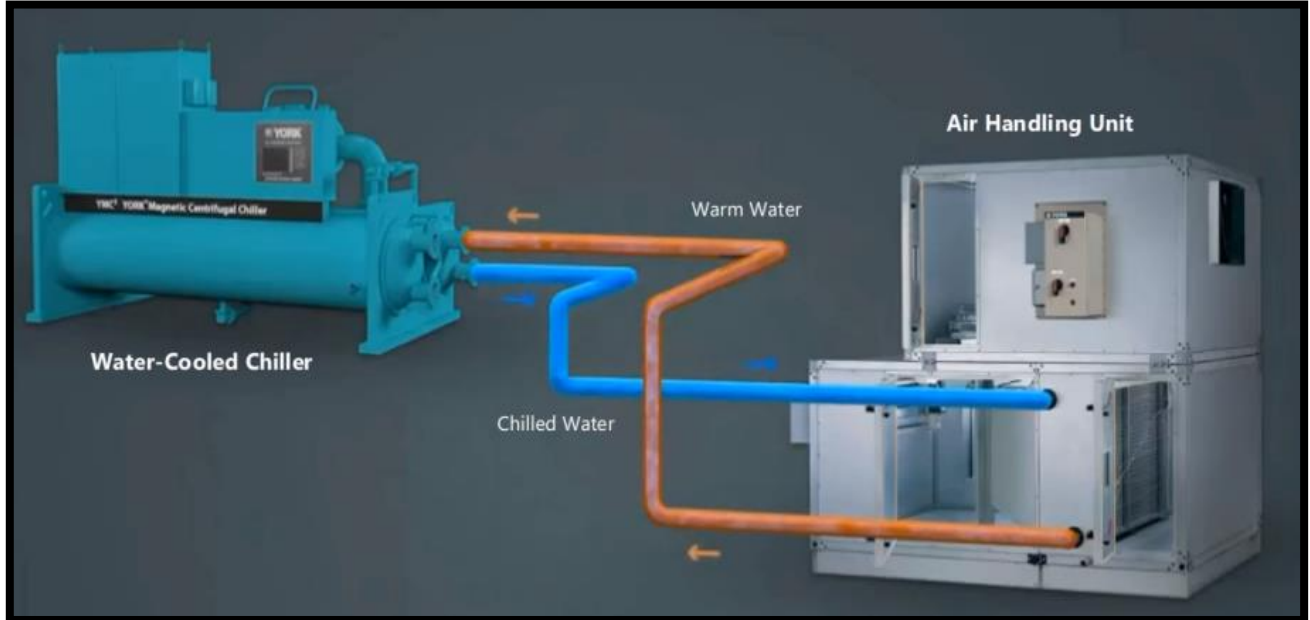
انظر إلى أجزاء تشيلر التبريد بالماء ... هي نفس فكرة تشيلر التبريد بالهواء ولكن لا يتم تبريد المادة المبردة في المكثف بالهواء ومراوح الشفط ... ولكن تُبرد عن طريق مياه خارجية متصلة ببرج تبريد ... وهذا النوع بالطبع يتطلب مياه بكميات كبيرة ومناسب للأحجام الكبيرة وفي نفس الوقت أكثر كفاءة:



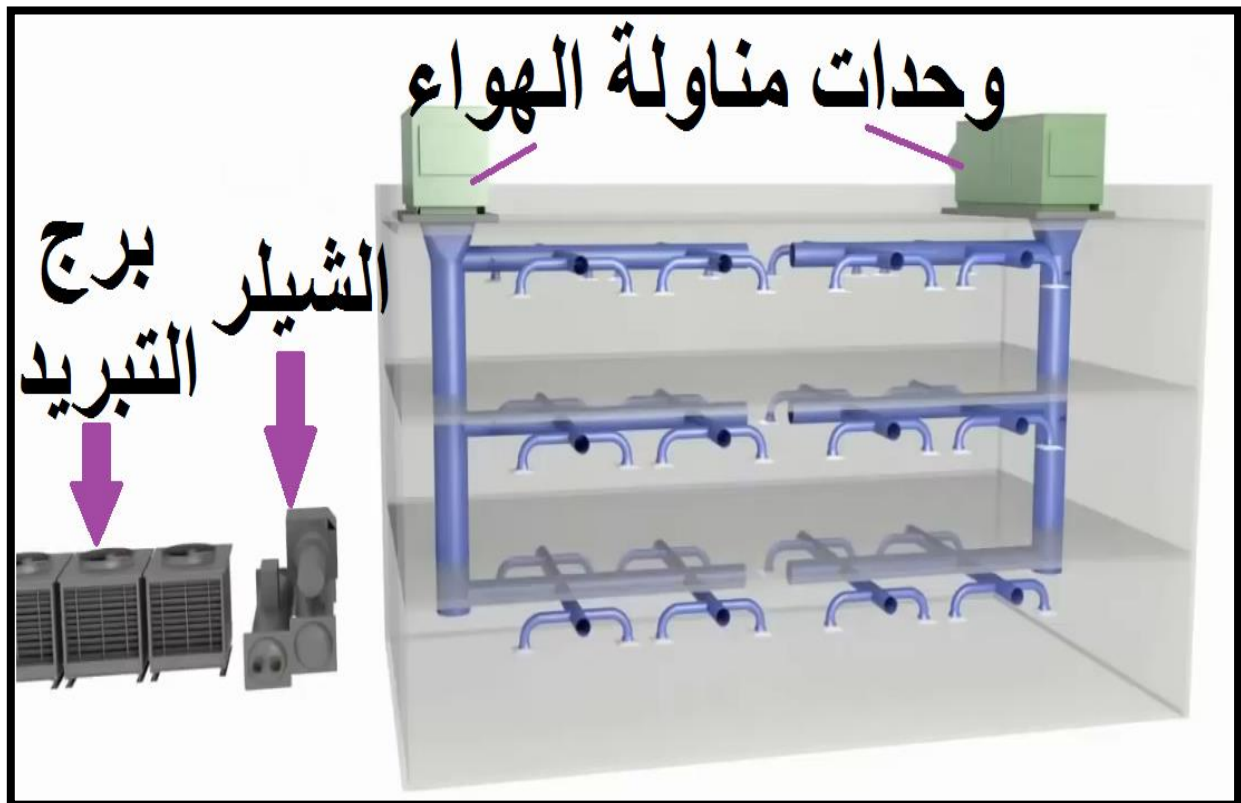
وهذه صورة أخرى لتشيلر تبريد بالمياه من زاوية أخرى:

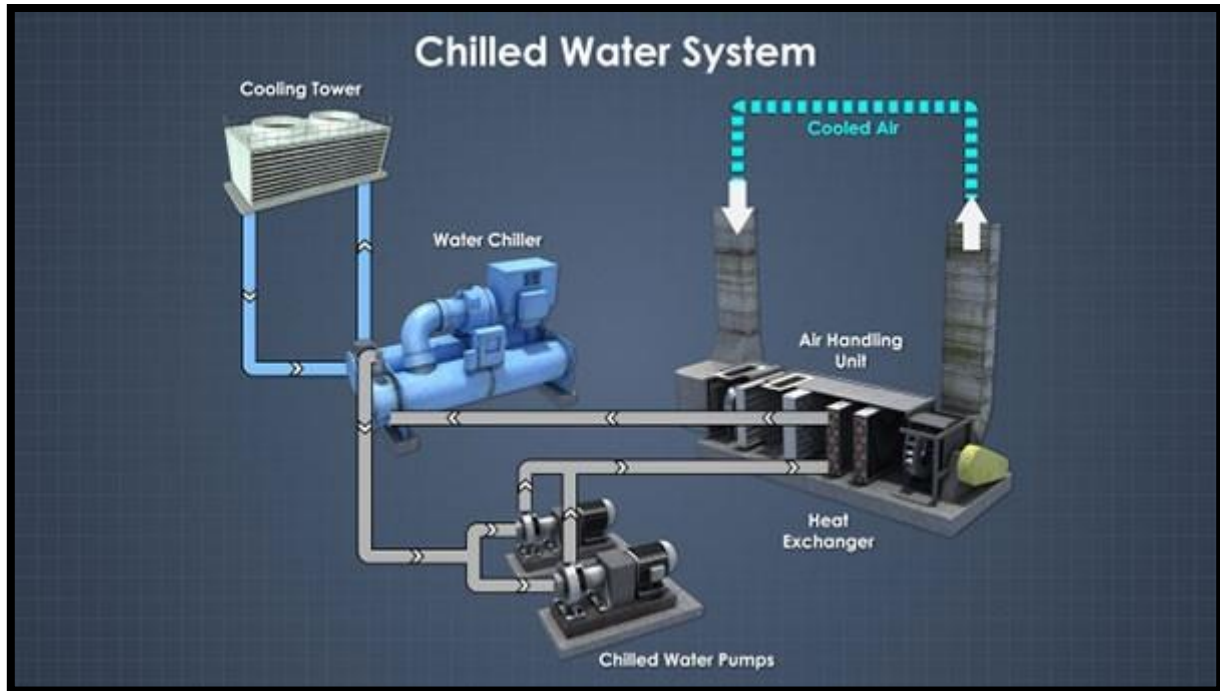
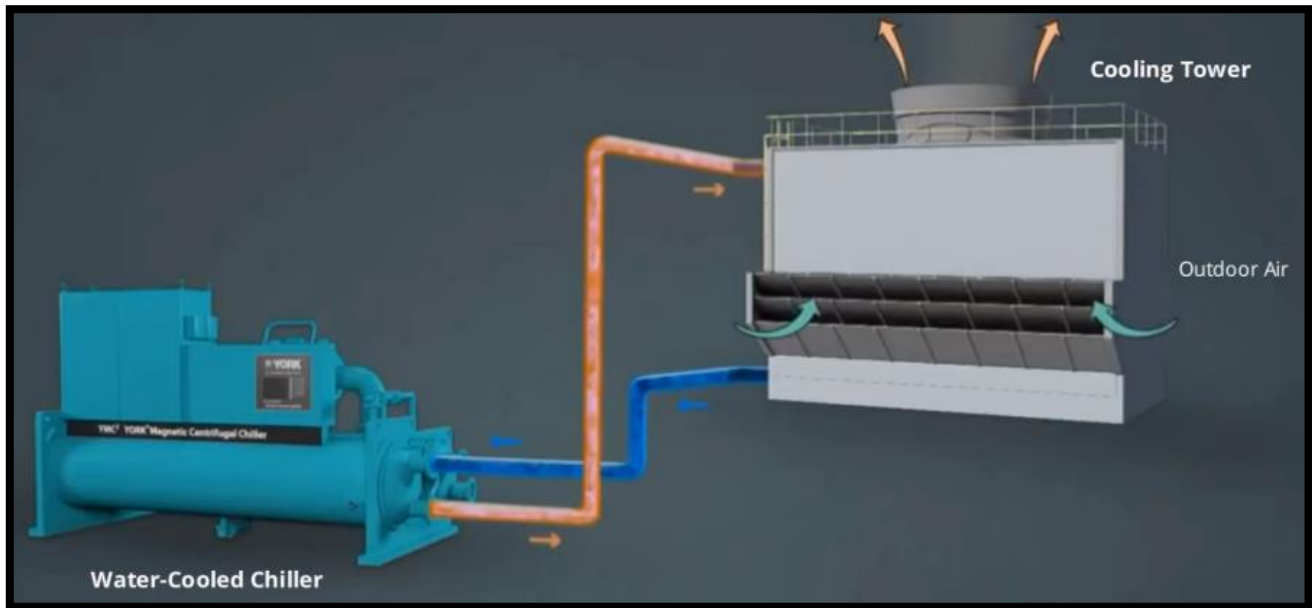


وهذه صورة توضح اتصال تشيلر التبريد بالماء بوحدة مناولة الهواء حيث تنتقل المياه الباردة chilled water من التشيلر إلى الوحدة وهي باردة وترجع دافئة بعدما يحدث تبادل حراري بين الهواء وبينها عبر coil تمر داخله المياه ويمرر الهواء عليه.



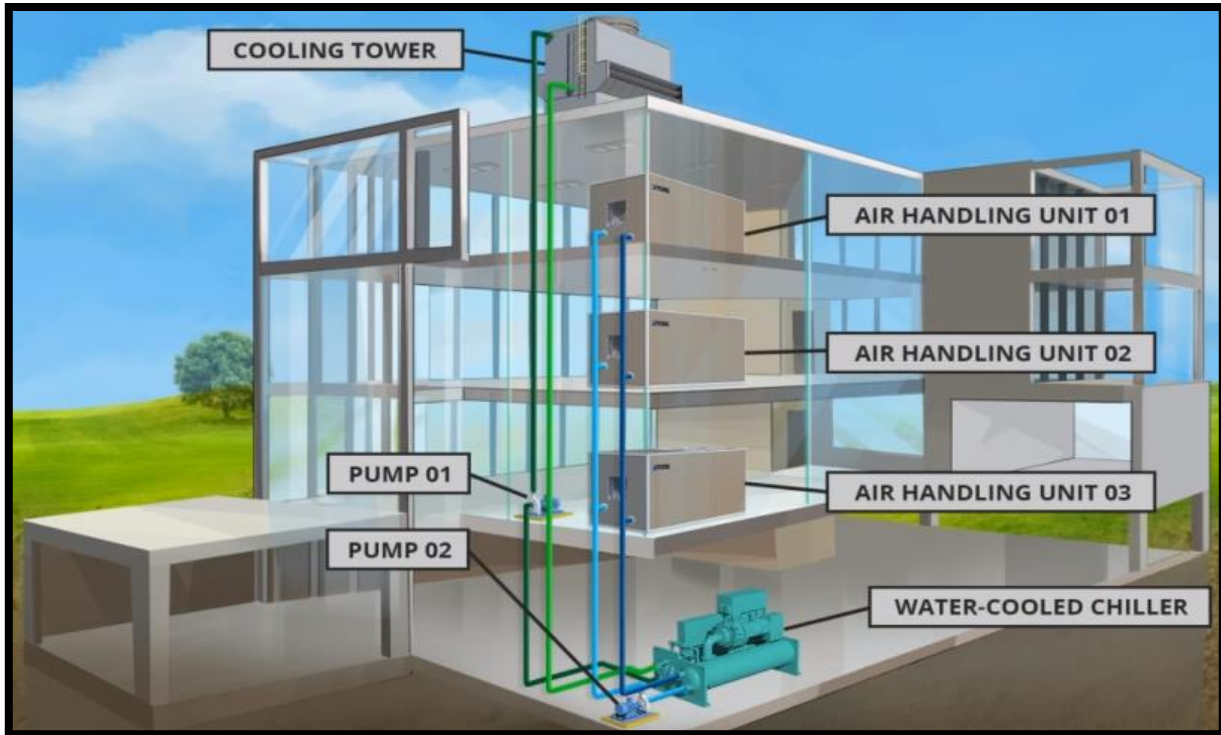
وهذه الصور توضح اتصال التشيلر ببرج تبريد الذي يعمل على تبريد المياه المسؤولة عن تبريد وسيط التبريد داخل التشيلر في منطقة المكثف condenser!





نقطة مهمة جداً ... أن المياه أو وسيط التبريد قد تنتقل إلى برج التبريد مباشرةً ليتم تبريدها وليس عن طريق مياه منفصلة تبردها بمبادل حرارى أو من خلال coil في المكثف.

وهذه صورة لتشيلر تبريد بالماء يخدم عمارة سكنية ويقدم الماء البارد لوحدات مناولة الهواء من جهة ومن جهة أخرى يتصل ببرج تبريد على سطح العمارة السكنية:



ملاحظات هامة:

المادة المُبردة في دائرة تشيلر التبريد الماء أو الهواء قد تكون مياه وقد تكون سائل الفريون وهذا الفريون يُستخدم في تبريد مياه تذهب إلى وحدات المناولة بالمبنى وتبرد الهواء. وفي بعض الأنظمة قد يتصل التشيلر بوحدة مثل الرادياتير لتبريد المياه وليس برج التبريد وبالتالي كفاءة التبريد هنا ليست أقوى من استخدام برج التبريد ولذلك تكون دلتا T على المكثف (فرق درجة الحرارة قبل وبعد) ليست كبيرة بالمقارنة ببرج التبريد. تشيلر التبريد بالماء يحتاج لتنظيفه من البايوفاولينج (طحالب أو بكتيريا) وغسيل كيمائياً بالأحماض المناسبة لإزالة الترسبات الملحية كما سنذكر في المناقشة القادمة.

ماذا يحدث داخل التشيلر؟!

الضاغط يرفع الضغط ودرجة الحرارة لوسيط التبريد القادم من المُبخر ... بعد زيادة ضغطه ودرجة حرارته يدخل على المكثف الذي يقوم بتبريده ... وفي الحالة الغازية يكون أعلى من درجة حرارة المكثف ... فيتكثف الغاز (وسيط التبريد) نتيجة فقدته للحرارة داخله نتيجة للتبادل الحراري بينه وبين مياه التبريد القادمة من برج التبريد فهو عبارة عن مبادل حراري ... يتحول وسيط التبريد لسائل ذو ضغط مرتفع ... يدخل على فلتر الدراير (المجفف) في حالة غاز الفريون لنزع الرطوبة والشوائب منه ... ثم ينتقل وسيط التبريد إلى جهاز التمدد عبر صمام التمدد thermal expansion valve حيث يتبخروسيط التبخير ويصبح درجة حرارته وضغطه منخفضه ويمر بملف من المواسير أو مبادل حراري وعن طريق مروحة يتم دفع هواء خلال هذه المواسير لتخفض درجة حرارته ليكون جاهزاً لتبريد المبنى ... وبالتالي وسيط التبريد ترتفع حرارته مرة أخرى وبعد التحول إلى الغاز ينتقل إلى الضاغط مرة أخرى وهكذا يدور في الدائرة.

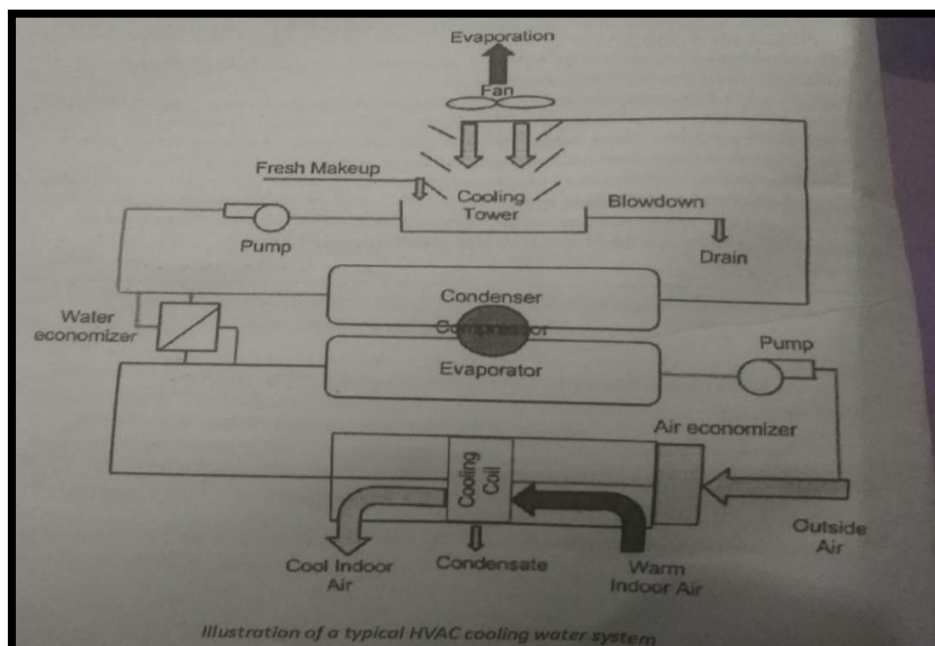
ملاحظات هامة:

- 1- وسيط التبريد لو كان مياه فلا بد لها من معالجة حتى تسبب تآكل الواسير والمضخات.
- 2- الدائرة المقابلة لوحدة التشنيلر والمسؤولة عن تبريده هي نفسها تكون متصلة بأبراج التبريد بأعلى المبني.
- 3- عند مخرج المبخر يوجد حساس sensor bulb الذي يشعر بدرجة حرارة مخرج المبخر ويُرسل إشارة إلى صمام التمدد يقول له تحكم يا صمام في كمية وسيط التبريد المناسبة التي سترسلها إلى المبخر.
- 4- الأفضل لو كان لدينا عدة تشيلرات أن يكون هناك مسافة لا تقل عن 2 - 3 متر بين كل شيلر والآخر لأنه ينتج حرارة تؤثر على التشيلر المجاور له ... كما أن البعد أفضل لسهولة عمل الصيانة.
- 5- يُمكن استخدام أكثر من ضاغط compressor إذا دعت الحاجة.
- 6- قد تتم عملية تبريد المباني باستخدام مكثف condenser ومياه من البحر أو النهر بطريقة ال once through ... مثال لذلك الفنادق العائمة في نهر النيل التي تستخدم مياه النهر في التبريد ولكن يجب الحذر من ادخال هذه المياه بدون معالجة أولية من فلاتر وخلافه وإلا سيهلك المكثف في غضون أقل من عام!

المهندس أيمن عوني عيد:

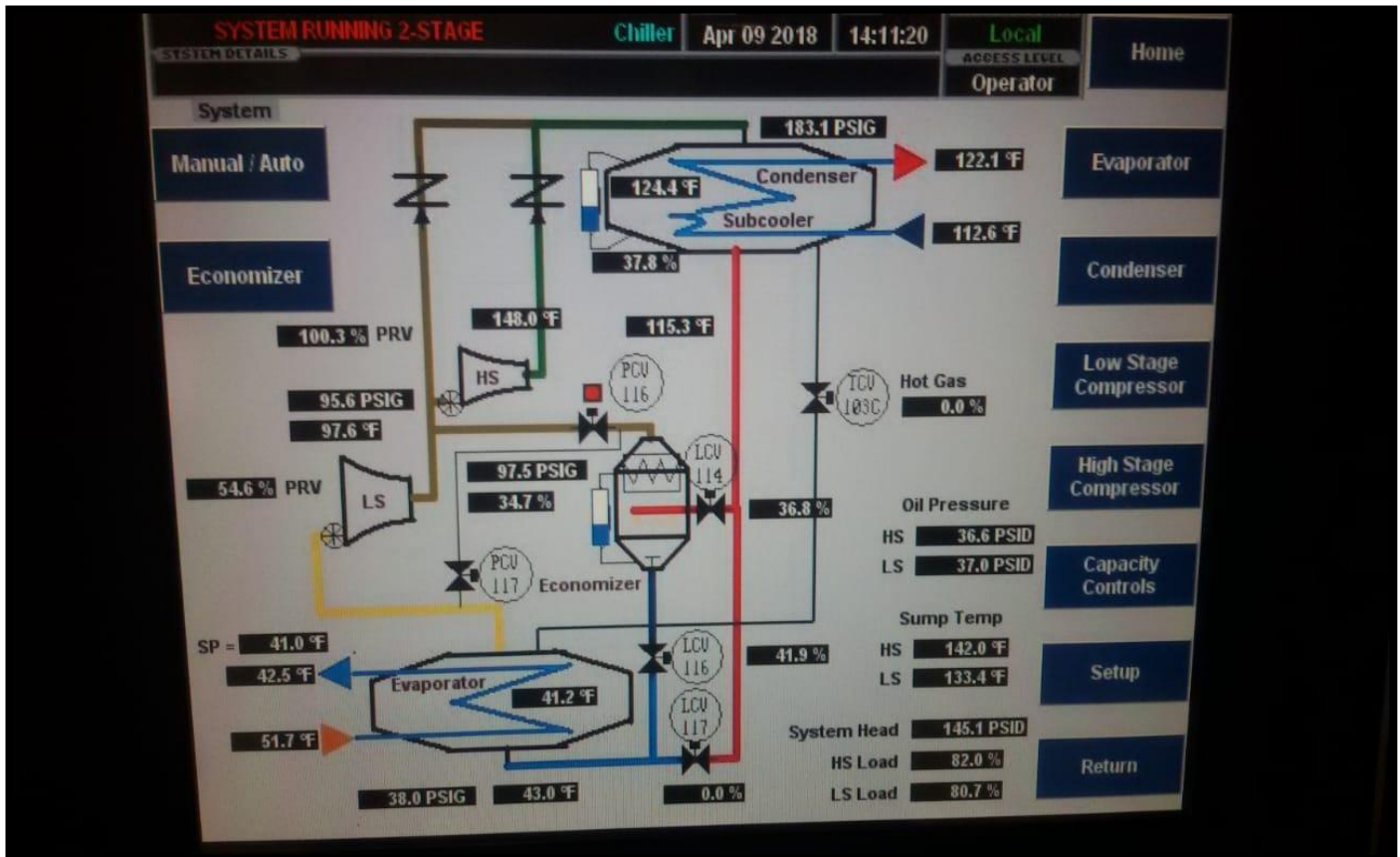
تُستخدم التشيلرات في تطبيقات أخرى كثيرة مثل مصانع البلاستيك التي تقوم بتبريد "الإسطمبات" أو يُستخدم في تبريد مياه داخل دائرة loop ... إلخ.

المهندس محمد علي الصاوي محمد زودنا بصورة عن دائرة تكييف ... ومن خلال الشرح السابق تستطيع شرح أجزاء الدائرة بنفسك الآن:



المهندس سعيد جُمعة سعيد:

هذه دائرة تشيلر تبريد المياه (يورك) أثناء الخدمة حيث القراءات قراءات تشغيل فعلية ... المياه التي فوق الكوندينسر هي دائرة منفصلة عن التي تحت المُبخر.



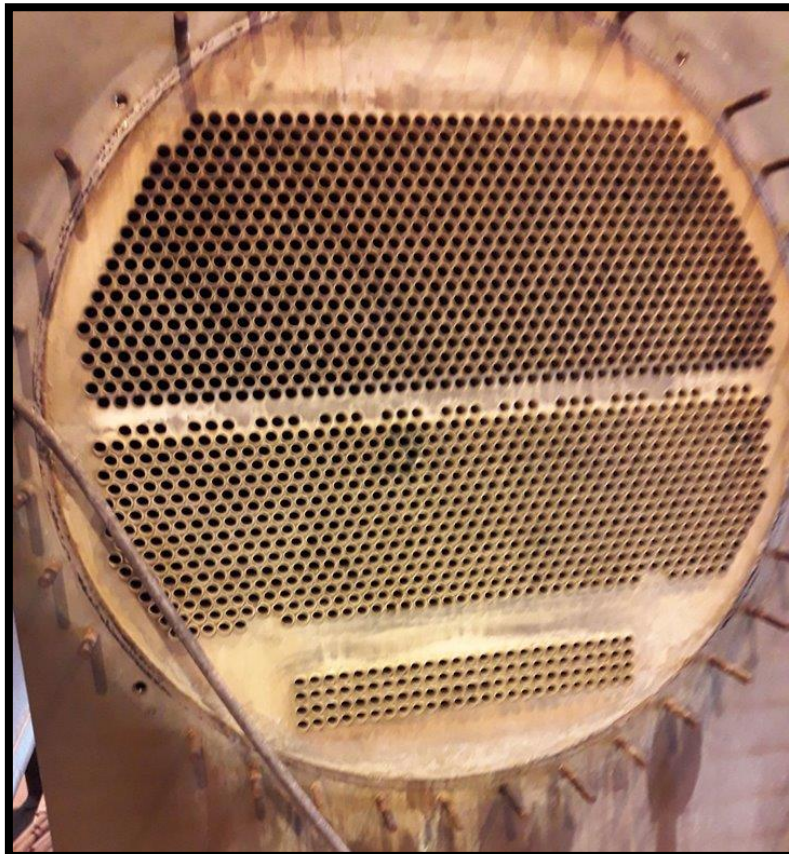
ولكن هذا الشيلر متصل برادياتير وليس أبراج تبريد لذلك فرق درجات الحرارة علي الكوندينسر يكون قليل وليس كما هو الحال مع أبراج التبريد.

المهندس نادر النجار:

صورة لـ Evaporator الذي يمر من خلاله مياه المبردة في الدورة المغلقة:



وهذه صورة الكوندينسر الذي يمر من خلاله مياه برج التبريد في الدورة المفتوحة:



مميزات نظام التشيلر :

يعتبر تكييف التشيلر هو أفضل أنواع المكيفات المركزية على الإطلاق من حيث الكفاءة العملية والقدرة على التبريد والكفاءة الاقتصادية وخاصة للمباني الضخمة والأحمال الحرارية الكبيرة ... ولكنه أكثر كلفة مع المساحات الصغيرة ... ويتم تنفيذ هذا النظام في المستشفيات والمجمعات السكنية التي تشتمل على العديد من الوحدات و تعتمد على نظام تكييف مركزي واحد فقط.

يتحدث المهندس سلمان الفارسي:

يتحدث المهندس سلمان فارسي عن أنواع الشيلر:

الشيللرات أنواعها :-

أ- شيللرات تبريد هواء.

ب- شيللرات تبريد مياه.

أ- شيللرات تبريد هواء:

يتم تبريد المياه عن طريق الشيللر و تكون مياهه معالجه كيميائياً حتي لا يحدث تآكل للمواسير والمضخات ووحددة الشيللر ... و تكون درجة حرارة هذه المياه منخفضة ... وتستخدم هذه المياه بعد تبريدها بالشيللر لتبريد المكان أوالمبني المراد تبريده ... حيث تمر المياه بملف من المواسير وباستخدام مروحة يتم دفع الهواء للدخول للمكان المراد تكييفه بالهواء البارد ويتم التحكم في درجة الحرارة عن طريق Solenoid Valve ... وبعد تبريد المكان نجد أن المياه الراجعة تكون ارتفعت درجة حرارتها فيتم تبريدها مرة أخرى بواسطة المبخر أو الشيللر حيث يحدث تبادل حراري بين المياه والفريون و يتم خفض درجة حرارة الفريون عن طريق مراوح شفط (التبادل الحراري بين سطح المواسير المحتوية علي الفريون والهواء).

ب- شيللرات تبريد الماء :-

و هي عبارة عن دائرة شيللر لكن تبريد فريون الشيللر لا يكون عن طريق مراوح شفط و لكن عن طريق ال Condenser حيث يحدث تبادل حراري بين الفريون والمياه في دائرة برج التبريد وتخرج المياه بعد التبادل الحراري حيث تدخل البرج ويتم تبريدها بمراوح داخل برج التبريد ويعتمد عملها علي زيادة مساحة سطح المياه عن طريق رشاشات المياه و سقوطها علي الحشو داخل أبراج التبريد مما يعمل علي زيادة سطحها وعن طريق مراوح تدفع الهواء فيحدث تبادل حراري عن طريق احتكاك الهواء بجزيئات المياه فتقل درجة حرارتها وترجع مرة أخرى إلي وحدة المكثف Condenser.

مكونات الشيللر:-

1- محطة الضخ (وحدة تبريد المياه وتسخينه):

تتصل وحدات التبريد (المبخرات) عن طريق مواسير معزولة مغذية وراجعة عن طريق طلبات ضخ للمياه ويختلف عدد وقدرة الطلبات علي حسب متطلبات كل وحدة ... كما يتراوح حجم التبريد (المبخرات) حسب حجم المشروع وحسب كميات الأحمال والتبريد المطلوب .

2- وحدات التبريد (المبخرات):

تتكون الوحدات الخاصة بالتبريد (المبخرات) لهذه النظام من (المراوح وملفات التبريد وفلاتر تنقية الهواء والكواتم ... إلخ) وتكون علي صورتين :-

أ- وحدات مناولة الهواء (Air Hand Unite):

تتكون من المبخر وصندوق الخلط (Mix Box) حيث يصلها الماء من محطات الضخ ثم تقوم بتكييف الهواء وتبريده وضخه للفراغ مرة أخرى (تستخدم هذه الوحدات لتكييف الفراغات الواسعة والكبيرة ومثل الصالات المفتوحة حيث تغطي من 20 - 30 طن تبريد).

ب- وحدات (Fan Coil Unit):

تتكون من المبخر فقط وتركب داخل الفراغ ويصلها الماء من محطات الضخ عن طريق أنابيب نحاسية معزولة حيث يتم تبريد الهواء داخل الفراغ نفسه لذلك لا يتم تجديد الهواء ... ويستخدم هذا النوع لتكييف الفراغات الصغيرة وتغطي من (3 - 6 طن تبريد).

ج- المواسير المغذية والراجعة:-

عبارة عن مواسير (تغذية وراجع) توصل بين محطة الضخ ووحدة التبريد (المبخرات) حيث تكون معزولة بواسطة مادة عزل حراري عالي (الصوف الصخري أو الفبيرجلاس) خاصة مواسير التغذية وذلك لعدم تأثيرها بدرجة الحرارة المحيطة ولحفظ درجة حرارة المياه داخل المواسير.

د- القنوات الهوائية (التغذية والراجع):-

عبارة عن قنوات هوائية تتصل بوحدات التبريد (المبخرات) من نوع ال Air Hand Unite أو من Fan Coil Unite من النوع المخفي حيث تكون القنوات المغذية معزولة بواسطة مادة ذات عزل حراري عالي (الصوف الصخري) لعدم التأثير بدرجة حرارة الوسط المحيط وحفظ الحرارة.

المُحاضر:

نقطة في الشيللر ... أن تصريف الحرارة يكون باستخدام الفريون المسؤول عن التبريد تماماً مثل وظيفته في الثلاجة أو الفريزر (المُبرد) ... وهذا الفريون الذي اكتسب حرارة يتم تبريده بالماء في برج تبريد أو تبريد بالهواء من خلال سحبه من الدائرة المغلقة بمراوح شفط.

المهندس شعيب محمود شعبان:

تنقسم المكثفات المستخدمة في دورات التبريد أو التكييف إلى الأقسام الرئيسية التالية:

• مكثفات مائية.

• مكثفات هوائية.

• مكثفات تبخيرية.

ولكن قد تضطر لاستخدام كميات كبيرة من الماء في وحدات التكييف المائية الكبيرة أو قد تكون في حاجة لتقليل كمية المياه ما أمكن لارتفاع ثمنها.

وفي مثل هذه الحالات نحتاج بجوار المكثف إلى برج لإعادة استخدام الماء بعد تخليصه هو الآخر من الحرارة التي امتصها من دورة التبريد بدلا من تبريد هذا الماء بعد خروجه من المكثفات المائية العادية .

سؤال متدرب:

لدي وحدة (Zero liquid charge (ZLD وغير مسموح بصرف مياه عالية الأملاح لأن حولها أرض زراعية ... ويوجد مُبخر Evaporator يبخر الماء ذات الأملاح المُرتفعة وينتج بخار حرارته من 100 - 110 درجة مئوية ويُنقل البخار لوحدة مناولة على condenser متصل بشيللر ولكن سعته أصغر من كمية البخار المنتجة ... ودرجة حرارة التشيلر نفسها مُصممة على أنها تعمل من 8 - 28 درجة مئوية ... هل يُمكن الوصول بها إلى درجة 40 أو 50 لأنني لست محتاجاً لتبريد المياه لدرجة كبيرة فقط المطلوب التكثيف وبذلك نستوعب كمية بخار أكبر؟؟

رد المهندس سلمان الفارسي:

علي حسب كل تطبيق يحتاج درجة حرارة معينة وهذه الجزئية سيكون لها علاقة بالكباسات الخاصة بالتشيلر وتصميمه والحمل الحراري للتشيلر ... التشيلر يُبرد سواء مياه أو هواء أو منتج معين في الصناعات مثلاً يتم قياس قوة التكثيف بالطن تبريد ... ولذلك في الصيف التشيلرات أثناء تشغيلها يستخدموا كباسات أكثر بسبب ارتفاع درجة الحرارة لأنه يحتاج تبريد أكثر لأن الحمل الحراري أكثر علي التشيلر.

رد المهندس سعيد جُمعة سعيد:

ما هو الغرض من استخدام تشيلر لو أنت تحتاج فقط أن تكثف المياه؟ يُمكنك استخدام مكثف فقط كما هو الحال في دوائر الغلايات ... وبالنسبة لدرجات الحرارة فكل تشيلر يكون له حدود limit في فرق درجات حرارة ثابت (في تصميم التشيلر) يعمل عليه بحيث أن درجه حرارة المياه الخارجة من المُبخر مساوية لدرجة حرارة سائل الفريون داخل المبخر أو أعلى بفرق لا يزيد عن 3 درجات مئوية ... لو الغرض تحويل البخار الي ماء فانت لا تحتاج الي تشيلر... تحتاج فقط إلى مُكثف وهو عبارة عن condensing coil بداخله البخار ويبرد الcoil عن طريق الهواء أو الماء ... نعم سيكون حجمه كبير لكن التكلفة بالنسبة للتشيلر أقل بكثير ... كما أن التشيلر لا يستخدم في درجات الحرارة العالية لأن ذلك يؤثر علي درجات حرارة وضغوط الغاز الداخلة على الضاغط وعليه تتأثر الكفاءة.

رد السائل:

هو فعلاً يفصل نتيجة ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد وبالتالي عدم قدرة التشيلر على تكثيف الكمية المطلوبة ... ما هي درجة الحرارة المطلوبة لتكثيف البخار؟

رد المهندس سعيد جُمعة سعيد:

هذه لها علاقة بالضغوط ... الطبيعي أن درجة حرارة تكثيف الماء عند الضغط الجوي تبدأ من تحت الـ ١٠٠ درجة مئوية لكن عندك في الدائرة الضغوط تختلف ... كذلك درجة التكثيف ستقل وأنت عندك الهواء درجة حرارته لا تصل إلى ٥٠ فهذه مناسبة لموضوع التكثيف.

في علم التبريد هناك حدود لدرجات الحرارة بحيث أن أقل درجة حرارة تخرج من التشيلر التبريدي هي ٤١ فهرنهايت (5 درجات مئوية) وما تحت هذه الدرجة هي التشيلرات المُثلجة وهذه لابد لها من جليكول ومعالجة خاصة وأعلى درجة تكون حسب فرق درجات الحرارة التصميمية لكل تشيلر وهي غالباً من ٨ الي ١٢ فهرنهايت.

وحول الغسيل الكيماوي للتشيلرات:

سؤال لمتدرب:

ما هي خطوات غسيل تشيلر مستخدم ولم يكن فيه نظام معالجة من قبل ونسبة الحديد عالية

رد المهندس سلمان الفارسي:

مبدئياً تقوم بعمل "شطف مبدئي" للدائرة حتى تروق المياه ثم تستخدم غسيل حامضي acid cleaning ... والكمية المضافة تختلف من شركة لشركة وتتراوح نسبتها من 0.05 - 5% من حجم الدائرة و يتم عمل تقليب ثم "شطف للدائرة" حتى تتخلص من الكيماويات والحديد الذائب والعكارة ثم تغسل المصافي علي الطلمبات والتشيلرات ووحدات المناولة ثم "شطف" حتى تكون نسبة الحديد أقل من 1 جزء في المليون ... بعد ذلك تضيف كيماويات المعالجة.

رد المهندس أيمن عوني عيد:

أفضل في الغسيل الحامضي استخدام أحماض عضوية مثل حمض الفورميك Formic لغسيل التشيلرات حتى لا يحدث attack للنحاس حيث أنه يتأثر بالأحماض الغير عضوية القوية (مثل حمض الهيدروكلوريك) ... ويتم إضافة مواد أخرى مع الحامض تعمل ك inhibitor مثل الهيكسامين مثلاً بنسبة 10% من حجم الحامض (والبي إتش تكون بين 2 - 3).

المُحاضر:

وحمض السلفاميك sulfamic يُستخدم أحياناً ولكن يجب الحذر منه حيث أنه حمض غير عضوي وقوي ... والبي إتش تصل إلى 2 - 2.5.

استفسار سائل:

لو كان الغسيل قاعدي؟؟

رد المهندس سلمان الفارسي:

يستخدم الغسيل القاعدي ويُعطي نتيجة لكن الأفضل منه الغسيل الحامضي في حالة الحديد المرتفع ويتم الغسيل ب Acid مثل السيتريك أو السلفميك.

السلفاميك من 0.05 - 5% ويكون علي حسب حالة الدائرة و توصية شركة الكيماويات الموردة ... وفي حالة الدوائر الجديدة أفضل مادة لغسيلها هي المادة القاعدية لأنها تعمل علي إزالة الزيوت والشحوم وآثار اللحامات والصدأ.

والغسيل القاعدي عبارة عن مادة أساسها caustic soda ويتم بها غسيل الشبكات الجديدة أو في حالة تم عمل صيانة والدائرة تحتاج لغسيل وتُضاف الكمية بناءً علي توصية الشركة الموردة ... والأس الهيدروجيني pH = 11.5 حد أقصى ... ويتم تقليب الدائرة لمدة 24 ساعة مع مراعاة أن يكون التقليب بطلمبات النظام.

المهندس سلمان الفارسي يتحدث في موضع آخر عن الغسيل:

الغسيل القاعدي في حالة وجود حديد عالي أو Boiling out وهو مصطلح معناه الغسيل بال alkaline قبل ال start up (في دائرة التشغيل الجديد) سواء للغلايات أو الشيللر لانه يحدث فيه رفع درجة حرارة بسبب alkaline وكلما ارتفعت الحرارة كان الغسيل أفضل (البعض يطلق هذا المصطلح على الغلاية فقط)... ويجب أن لا تزيد ال pH عن 11.5 أثناء الغسيل القاعدي + تقليب للدائرة لمدة لا تقل عن يوم ثم flushing بمياه نظيفة حتى تختفي العكارة ثم غسيل للمصافي في التشيللر والظلمبات ووحدات المناولة وال fan coil ثم flushing مرة أخرى حتى يصل الحديد إلى أقل من 1 جزء في المليون ... وفي حالة ال absorption chiller يكون الحديد أقل من 0.3

وبعد الغسيل القاعدي يتم اضافة كيماويات المعالجة (ضد التآكل والبياسيد).

تعقيب المهندس أيمن عوني عيد:

المواد القلوية الأخرى التي تستخدم في الغسيل القاعدي مع الصودا:

[EDTA = 500 ppm, poly-acrylic acid = 600 ppm and Caustic soda = 500 ppm]

وتدور المياه مع تشغيل الشيللر العادي لمدة أسبوع ثم تشطف الدائرة حتي ثبات تحليل الحديد (يقال الحديد لأقل من 1 جزء في المليون) ... وعملية الشطف تتم أثناء التشغيل عادي جداً ثم تفتح من أقل نقطة في الدائرة لتفريغ المياه (بمعدل بطيء) وتقوم بعمل استبدال replacement جديدة حتى تصبح نسبة الحديد ثابتة ثم تُغلق الدائرة وتضع الكيماويات الخاصة بالمعالجة العادية.

المهندس سلمان الفارسي:

توجد مواد قاعدية أخرى بتركيبية ويكون فيها inhibitor وتكون No how بمعنى أن شركة المعالجة من الصعب أن تعطي التركيبية والنسب الخاصة بها (أسماء تجارية) ... والأفضل أن من يُشرف علي الغسيل شركة متخصصة مُلمة بالموضوع جيداً فلا تحدث مشاكل للدائرة بدلاً من غسيلها.

المهندس أيمن عوني يتحدث عن غسيل التشيلرات:

مواد الغسيل للترسيبات الكلزية واحد من ثلاثة أحماض: "سيتريك - سالفاميك - فورميك" مع وجود مثبت للترسيب في حالة وجود أكاسيد حديد ... والمثبت: قد يكون السيتامين ومن الممكن أن نستخدم مولات القصب والعسل الأسود ممتاز في هذه الحالات لكن له تركيبه (no how) ... وأفضل المواد سترات الأمونيوم ويمكن استخدام مادة ميتاسيليكات لإزالة الصدأ.

يتحدث المهندس أبو طارق خريبة عن غسيل التشيلر:

تفريغ تانك محلول الجليكول وشطفه جيداً وعمل محلول من حمض السيتريك 1% المخفف بماء شرب نقي لازالة رواسب الأملاح المعدنية والفلزات وصدأ المواسير ... درجة الأس الهيدروجيني 2-3 لمدة 30 دقيقة ... وإن ظهر لون المحلول أحمر أو بُني داكن تكرر دورة الغسيل مرة أخرى حتي يظهر لون المحلول أبيض ثم الشطف في دورة مغلقة والتفريغ وتحضير محلول إيثيلين جليكول 3% والتشغيل.

استفسار سائل:

ماهي الكيماويات والطريقة الأفضل لغسيل الكويل coil في التشيلر ولا تسبب تآكل الكويل؟

رد المهندس حسن البحر:

سلفمك أسيد مع استخدام copper inhibitor ... خمسين كيلو جرام لكل متر مكعب مياه و تعمل على رقم هيدروجيني $pH=1$ بصفة مستمرة لمدة 16 ساعة والcopper inhibitor.

رد المهندس حسن باديني:

استخدام الأورجانو فوسفات لايؤثر أو يسبب تآكل للنحاس وله أداء جيد جداً في إزالة الترسبات الملحية .de-scaling performance

استفسار المهندس أحمد حميدة سليم:

للمناقش ... في عملية غسيل الدوائر المغلقة هل هناك طرق غير تقليدية للنزول بنسب الحديد والعكارة إلى الحدود القياسية خلال عملية الشطف في وقت زمني قصير وخصوصاً في الدوائر ذات الأحجام الكبيرة ؟

Top of Formرد المهندس عمر الفاروق:

هذا يعتمد على عاملين ... العامل الأول كم مستويات التآكل التي وصلت إليها الدائرة ويتم قياسها بالحديد الكلي ... العامل الثاني ... هل الحديد في الدائرة ferric أو ferrous؟ وهل هو قابل للغسيل الكيميائي أم هو أكاسيد المعدن وأنت تغسله على قدر استطاعتك! غسيل ferrous أسهل ولا يسبب أذى على المعدن ... أما لو تأكسد إلى ferric فيجب أخذ احتراس من ذلك ولن تصل إلى zero total iron مهما استخدمت الغسيل الكيميائي.

بالنسبة للمعدل وسرعة الشطف flushing rate فهو عامل حرج جداً إذا رفعت جرعة الحامض فتزيد قوة الشطف وهذا أسرع حل مع الأخذ في الاعتبار النصائح أعلاه ... أيضاً ضع في الاعتبار وحدة الفلتر الجانبي side filtration في اصطياد الحديد والsludge والتي تساعد على التنظيف.

رد المهندس حسن البحر:

ركب cartridge filter على الشبكة بعد الإنتهاء من مرحلة الغسيل الإبتدائي وسينزل الحديد بشكل سريع ... أهم شي يكون عدد الفلاتر مكافئ لحجم المياه وكلما كان زمن الفلتر أسرع كلما كانت العملية أسرع.

رد المهندس أحمد حسن أحمد :

استخدم cartridge filter كفلتر جانبي side stream filter.

رد المهندس أحمد جودة خليل:

من الممكن أن تستخدم multi media filter متحرك يعمل side stream وترفعه بعد الإنتهاء من الغسيل و الشطف ... وهذا يوفر كميات مياه كبيرة.

Top of Form

المهندس سيد حسن عسيري:

بالدوائر المغلقة نحتاج أولاً عمل شطف بمياه التعويض العادية مرة أو أكثر حسب نتائج قياس الحديد في الشبكة ثم بعدها يتم عمل غسيل كيماوي للشبكة من 24-48 ساعة ثم بعدها يتم شطف الشبكة أكثر من مرة وقياس نسبة الحديد والمتبقي من مادة الغسيل حتي نصل إلى أقل من 0,5 جم/ م³ حديد وبعدها يتم إضافة مانع الصدأ في الشبكة ثم ضبط ضغط الشبكة للتأكد من عدم وجود هواء بالشبكة.

المهندس ناجي سعيد عبد المطلب :

حضراتكم بالنسبة إلى معالجة مياه الدوائر المغلقة مثل التشيلر يتم الآتي:

1. عمل شوف لمياه الدائرة بمياه البلدية حتى تصبح المياه رائقة تماماً ونسبة الحديد تصل إلى حوالي 0.1 ... ويُفضل بعدها عمل تنظيف لجميع المصافي الموجودة في الشبكة إن أمكن.
2. يتم إضافة مادة الغسيل الأولى والتي تتكون من محلول قلوي عالي بنسبة 4:3 كيلو جرام للمتر المكعب والتقليب لمدة 24 ساعة وسوف يتضح ظهور عكارة شديدة بمياه الدائرة غالباً حسب حالة الدائرة ... ويتم عمل شطف للدائرة بمياه البلدية حتى تصبح نظيفة تماماً ونسبة الحديد حوالي 0.1 ppm.
3. يتم عمل تنظيف المصافي وهو ضروري جداً للتخلص من نواتج الغسيل.
4. يتم إضافة مادة الغسيل الثانية وهي من الفوسفوسيليكيث والتقليب 24 ساعة ثم عمل شطف للدائرة ... يجب ألا يتجاوز نسبة الحديد الذائب بمياه الدائرة في النهاية حسب المواصفات والمقاييس العالمية عن 0.5 ppm.
5. يتم إضافة مادة المعالجة النهائية إلى الدائرة وغالباً ما تكون من النيتريت وبتركيز حوالي 1000 ppm ... أي ألف جزء لكل مليون جزء أو باستخدام مادة التانين بتركيز 120:160 ppm بإضافة 3 كيلو جرام من أي من المادتين للمتر المكعب حسب تركيز الشركة المنتجة وفي النهاية يجب أن تقوم شركة متخصصة في مجال معالجة المياه بالإشراف على جميع الخطوات والقياسات.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

29

التنظيف
الكيمائي
والميكانيكي!!



**Chemical
&
Mechanical cleaning**

النقاش التاسع و العشرون:-**29- التنظيف الكيماوي والميكانيكي!!**

معالجة برج التبريد وتنظيفه نضطر له لفترات دورية تبعاً لحالة البرج ... يتم عمل وقف للتشغيل shut down ... يتضمن التنظيف الغسيل الكيماوي وإزالة الصدأ وغيره وهي المعالجة الكيميائية يعقبه المعالجة الميكانيكية ... ثم الشروع في برنامج المعالجة الوقائية مع بدء التشغيل مرة أخرى. وعدم تنظيف البرج دورياً مثل المريض الذي يتأخر علاجه فيتمكن المرض منه ويكون مداواته أكثر صعوبة ... تزيد العكارة ويزيد ارتفاع نسب الحديد الناتج من التآكل ويزيد البايوفاولينج ... إلخ ...

التنظيف الكيميائي للبرج في المعتاد يتضمن 3 أمور:

1- مشتت بيولوجي Biodispersants.

2- تنظيف بالحامض Acid cleaning.

3- التعقيم Disinfection.

التنظيف الكيميائي:

1- مشتت بيولوجي Biodispersants ... وتحدثنا عنه من قبل.

2- تنظيف بالحامض Acid cleaning لإزالة القشور الملحية المترسبة scales وهي عملية مهم تسهل عملية المعالجة الميكانيكية لاحقاً.

اختيار الحامض يأتي تبعاً لنوع الترسبات ونوع المعدن المستخدم في صناعة أجزاء دائرة التبريد ... وأشهر الأحماض هي حمض السالفاميك sulfamic acid أو السيتريك Citric acid أو الفورميك Formic acid بنسبة مئوية من 3- 10% متوسط أو حمض الهيدروكلوريك (1- 3%) تبعاً لتوصيات الشركة المعالجة ... والوصول للـ pH إلى 2 - 3 ... والزمّن المطلوب يتراوح ما بين 6 - 24 ساعة باستخدام ظلمبة تدوير ... وقد لا يكون أحد الأحماض فعالاً فلجأ لآخر (حامض الستريك مثلاً ضعيف قد لا يفي بالغرض).

التنظيف بالحامض يسبب نقص فترة عمر نظام التبريد.

ويمكن بعد الغسيل الحامضي المعادلة بمادة قلوية (Caustic) للوصول إلى pH 7 أو 7.5 وهي عملية الـ Neutralization ... لا تزيد عن ذلك خاصة عندما نستخدم الكلور في المرحلة التالية. البعض يقوم بإضافة الـ EDTA لتقوم "بكلبشة" الكالسيوم والمغنسيوم وتحويلهما من صورة صلبة على أسطح المعادن إلى صورة ذائبة ... ولكن توجد محاذير لذلك ... فالـ EDTA تتحد أيضاً مع الحديد وتسبب تآكل للمعدن.

على غرار المشتت البيولوجي الذي نستخدمه لتفريق المستعمرات البكتيرية ليتخللها البايوسايد بسهولة ... توجد أيضاً مادة تكسر الأملاح المترسبة لكي نسهل عملية الغسيل الكيماوي ... ومن الملاحظات العملية الهامة أننا يجب أن لا نضيفها بكمية أو جرعة كبيرة shock dose وإلا تكسرت القشور على

هيئة قطع كبيرة فتخرج إلى الخطوط وتسبب سدد blockage ... بل تدمر المبادلات الحرارية ... لذا يجب الإحتراس وإضافتها بجرعة مناسبة.

3- التعقيم Disinfection لإزالة البكتيريا (ومنها الليجونيلا) وغيرها ... ويتم استخدام الكلور أو المعقمات الغير مؤكسدة (كالأيزو ثيازولين أو الجلوتيرالدهيد) كما تحدثنا من قبل. وتبعاً لحالة البرج ودائرة التبريد ونظرة الخبير يتم اختيار الثلاثة حلول منفردة أو مجتمعة. يتم تدوير الكيماويات لمدة ساعتين أو ست ساعات تبعاً لحالة الدائرة قبل الشروع في المعالجة الميكانيكية.

(مثلاً يتم استخدام الصوديوم هيبوكلورايت بحيث يكون الكلور المتبقي في الدائرة 4-5 جزء في المليون لمدة 6 ساعات عند $pH = 7 - 7.6$). يتم أيضاً استخدام البخار steam أو الماء المضغوط pressurized water للتنظيف والتقليل من استخدام الكيماويات.

سؤال لمتدرب حول الـ Cleaning & passivation بحمض السيتريك والمادة القلوية:

لو الخطوط ليست استانلس ستيل ... لو مثلاً كربون ستيل Carbon steel هل تُستخدم نفس الطريقة؟ أم يجب استخدام passivator آخر؟

إجابة المهندس يحيى صالح إبراهيم:

لو الخطوط كاربون ستيل Carbon steel بعد خطوة الحامض يتم الشطف بالماء ثم إضافة حمض سيتريك بتركيز 1% والتدوير لمدة ساعتين ثم رفع الـ pH إلى 9 ثم إضافة الصوديوم نيتريت بتركيز 0.5% ... والتدوير لمدة ساعتين على الأقل ثم درين فقط من غير شطف ... ومن الممكن أن ترفع الـ pH على نفس الحامض لو كان سيتريك بدون شطف لكن الشطف أفضل لأنه ينزل الرواسب قبل عملية الـ passivation.

المعالجة الميكانيكية:

تتم باستخدام أدوات ميكانيكية (جاروف مثلاً أو سكينه معجون أو فرش التنظيف brush cleaning ... أو ...) لتنظيف طبقة الطحالب الخضراء على الجدران أو مواد الحشو خاصة المعرضة مباشرة لأشعة الشمس على الجدران أو إزالة ما تبقي من القشور الملحية أو الطين أو الوسخ ... إلخ.

تنظيف الاستانلس ستيل:

يُمكن اتباع التعليمات التالية بشرط عدم وجود حديد مجلفن في المنظومة:

Cleaning of Stainless Steel**Routine Maintenance – Mild Cleaning**

Simple pressure washing (of sheet metal components only), using household cleaners, detergents or ammonia annually (more frequently in marine or industrial environments) will help maintain the finish and keep it free of atmospheric contaminants.

Minor Surface Dirt – Mildly Aggressive Cleaning

Use of a sponge or bristle brush with a non-abrasive cleaner is recommended. After cleaning, rinse with warm water from a hose or pressure washer. Towel dry cleaned area and coat area with a high quality wax to provide extra protection.

More Aggressive Cleaning – Removal of Fingerprints or Grease

Repeat processes 1 and 2, then use a hydro-carbon solvent like Acetone or alcohol. As with any hydro-carbon solvent, caution must be taken when using the product. Do not use in confined spaces or while smoking. Keep solvents out of contact with hands and skin. Household glass cleaner, Spic n' Span are other options for cleaners. After cleaning, towel dry and apply a coat of high quality wax for extra protection.

Aggressive Cleaning – Removing Stains or Light Rust

If iron contamination or surface staining is suspected, immediately remove the stain or rust using a chrome, brass or silver cleaner. The use of mild non-scratching creams and polishes are also recommended. When the cleaning procedure is complete; use a high quality wax for extra protection.

Most Aggressive Cleaning – Removing Heavy Rust Deposits, Iron Contamination, Spot Weld Discoloration and Weld Spatter using Acid

First try processes 1 through 4. If the stain or rust is not removed, the following should be used as a last resort. Rinse the surface with hot water. Use a saturated solution of oxalic or phosphoric acid (10 to 15% acid solution). This should be applied with a soft cloth and allowed to stand for a few minutes – do not rub. This acid should etch out the iron particles. Follow this with an ammonia and water rinse. Rinse the surface again with hot water; coat with a high quality wax for added protection. Use extreme caution when working with acids! Synthetic rubber gloves should be used, goggles and aprons are advisable.

DO NOT USE THIS METHOD IF THE UNIT HAS GALVANIZED STEEL COMPONENTS.

As a minimum, these guidelines should be followed to maintain and clean the stainless steel unit. When cleaning stainless steel, NEVER use coarse abrasives or steel wool, NEVER clean with mineral acids and NEVER leave stainless in contact with iron or carbon steel.

سؤال لمتدرب:

ماهي أفضل مادة لإزالة الترسبات الكلسية من على سطح الإستانلس ستيل؟

إجابة المُحاضر:

الاستانلس ستيل بالرغم أنه مقاوم شرس للتآكل إلا أنه عند تعرضه لبعض الظروف القاسية مثل التعرض للملوحة العالية كميّاه البحر تجعله يفقد الطبقة الحامية (أكسيد الكروم) وتحدث الأكسدة والتآكل للحديد

في الطبقات السفلى ... وإزالة طبقة الصدأ التي تتكون يتم استخدام واحد من الحمضين الضعيفين التاليين:

1- حمض الفوسفوريك: حيث يذيب أكسيد الحديد المتكون بدون مهاجمة للمكونات الأخرى من الحديد (الكروم وأكسيد الكروم والنيكل والحديد)

Phosphoric Acid: Phosphoric acid will dissolve iron oxide without attacking the other components of the steel (chromium and chromium oxide, nickel, and iron).

2- حمض الأسيتيك: أبطأ من حمض الفوسفوريك لكن أفضل مع الصدأ الذي تكون بكثافة عالية.

Acetic Acid: The reaction with acetic acid is often slower than phosphoric acid and can be a better choice when the underlying corrosion/staining affect a larger percentage of the substrate.



الطريقة العامة لعمل ال Passivation بحمض السيتريك والنيتريك:

General Passivation Procedure

The following steps are the general passivation procedures for both Citric and Nitric Passivation.

Initial Flush: The piping shall be thoroughly flushed to drain with water (recommended velocity 5 to 10 feet/second), to assure removal of foreign matter. Care should be taken to ensure that the piping is fully flooded. Water of a quality comparable to the final usage of the system should be used for flushing. The water usage estimate should be provided to plant engineering prior to start of flushing operations.

Water supply and waste drainage capacity for handling flow rates for the entire passivation process shall be verified prior to the work being performed.

Caustic Cleaning/ Rinse: Contaminants on the stainless steel surface can prevent contact with air or other oxidizing agent; therefore, the system shall be detergent cleaned prior to passivation.

Cleaning procedures need to recognize the types and amount of contaminants on the surface to be cleaned. Keeping surfaces as clean as possible during fabrication will make the final cleaning easier.

Acid Passivation: The piping shall be treated with a Nitric or Citric Acid aqueous solution for a pre-determined duration, temperature and solution concentration.

Final Rinse: Flush continuously with water of quality consistent with the intended use of the system, until a pH check at all outlets of the system is within 0.5 pH of the incoming flush water. The quality of the water to be used for flushing shall be approved by the Process Engineer. The system shall be flush continuously and shall not be re-circulated.

Documentation: For each piping section or circuit that is passivated individually, a passivation report shall be filled out. This report shall include information such as passivation method, step duration, concentrations, temperatures, etc. This report should be filled out by the contractor executing the passivation process.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

30

مشاكل

من هنا وهناك!



النقاش الثلاثون :-

30- مشاكل من هنا وهناك في أنظمة التبريد!

- المشكلة الأولى : رغوة (فوم foam) في مياه أبراج التبريد!
- المشكلة الثانية : مياه بيضاء مع رغوة!
- المشكلة الثالثة : انخفاض في الأس الهيدروجيني في مياه برج التبريد!
- المشكلة الرابعة : مياه سوداء داخل برج التبريد!
- المشكلة الخامسة: مشاكل في التانين!
- المشكلة السادسة: انخفاض العسر عن مياه التعويض!
- المشكلة السابعة :ضعف التبريد في أبراج التبريد:
- المشكلة الثامنة : تسريب غاز طبيعي إلى مياه التشيلر!

المشكلة الأولى: رغوة (فوم Foam) في مياه أبراج التبريد!

قد تتكون رغوي بيضاء في مياه التبريد الخارجة من أحد المحطات ولتكن مثلاً محطة كهرباء فتسبب أحياناً مشاكل في الضغوط وخلخلة في الهواء داخل المواسير و Overflow للمياه غير مستحبة. الرغوى أو الفوم Foam ببساطة هو حبس لجيوب من الغاز أو الهواء داخل سائل (أو صلب) ينتج ذلك من طاقة ميكانيكية تخلط الهواء بالسائل ... ويكون حجم الغاز كبيراً ويفصل ما بين المنطقة الغازية والسائلة غشاء نحيف interface ... أشهر الأمثلة هي رغوي الصابون!



كيف يتكون الفوم؟؟

في الأصل نقول أن الهواء غير قطبي Non-polar والماء سائل قطبي polar (عليه شحنة جزئية موجبة وسالبة) ... والقطبي وغير القطبي أعداء لبعضهما لا يلتقيان ... يوجد بينهم حاجز ... و سطح الماء يمتاز بالتوتر السطحي ... يعني لا يحب أن يختلط بالمادة الغير قطبية ... لذا تجد قطرة المياه عندما تلقي على سطح فإن جزيئاتها تكون قطرة متماسكة مع الوقت ... فإذا جاء "دخيل" واختلط بالماء وكان هذا الدخيل جزء منه قطبي وجزء غير قطبي فإنه يقلل التوتر السطحي للماء ويرتبط الجزء الغير قطبي بأخيه الهواء الغير قطبي ويجذبه لداخل المياه والجزء القطبي يحيط بالمياه القطبية ... فتتكون جيوب هوائية داخل الماء ويتكون الأستاذ "فوم"!

وفي برج التبريد - ونحن في غفلة - يخترق هذا الدخيل المنظومة ليكون الفوم الذي يظهر في قمة سطح البرج ويسقط على جانبي البرج أو يتكون في الحوض السفلي Basin. ألوان هذه الرغاوي تعتمد على مصدر التلوث ... قد تكون رغاوي بيضاء ... قد تكون سطحية رقيقة ... وقد تكون سميكة بنية مثل الطين.

أسباب تكون الفوم في دائرة وأبراج التبريد:

- 1- نتيجة تدفق وتقليب المياه والتغير في درجات الحرارة ... وهذه الرغاوي تستطيع أن تراها بيضاء عند تدفق المياه من طلبات الرى أو المياه الخارجة من مواتير المياه المنزلية وده أبسط الأنواع أقلها خطراً ولا تلبث أن تختفي في دقائق معدودة.
- 2- عدم التعقيم الأولي أو عدم التعقيم الكافي.

3- زيادة في جرعة الكيماويات المُضافة Chemical overfeed:

مثلاً زيادة البايوسيد تسبب الفوم (أو وقت إضافتها): مثل حقن صوديوم هيبوكلورايت عند المأخذ intake بكمية كبيرة للقضاء على الكائنات الميكروبية التى تسبب الرغاوي فيما بعد ... حيث تتفاعل المياه مع الهيبوكلورايت يكون هيدروكسيد صوديوم (الصودا) ذو ملمس صابوني:



تسبب الصودا الرغاوي لأنه تدخل في صناعة الصابون (وهذه من أساسيات الكيمياء!).
الحل: توفير وتقليل جرعة البايوسيد مع إضافة أنتي فوم (De-foamer) إذا تتطلب الأمر لتكسير فقاعات الهواء وتحريرها ... وغالباً ما تختفي بعد وقت قصير مع المرور على الفلاتر (أو الفلتر الجانبي).

أيضاً بعض الكيماويات الأخرى مثل الموليبيدات المضادة للتآكل وال quats الذي تحدثنا عنه من قبل كبايوسيد غير مؤكسد يسبب الرغاوي إذا تم حقنه بكمية أعلى من المطلوب.

مداخلة المهندس سامر نادر الأسدي:

بالفعل كان يتشكل في مياه برج التبريد فوم عند إضافة بايوسايد غير مؤكسد وكان الفوم يؤثر على حساسات المستوى في الحوض ويبقى الفوم مدة ثمانية ساعات تقريباً حتى يختفي لوحده وكنا نتجنب اطفاء الدارة قبل أن يختفي كي لايسبب أي مشاكل عند بداية التشغيل.

4- زيادة في عدد دورات التركيز عن الموصى بها **Over cycling**:

زيادة دورات التركيز يؤدي إلى زيادة الأملاح التي تقلل من التوتر السطحي للمياه بجانب زيادة تركيز الكيماويات المضافة ... فيجب تقليل عدد دورات التركيز إلى الموصى بها ... مع عمل تفوير وتعويض بمياه جديدة.

5- زيادة في المواد العالقة **Excessive suspended solids**:

وأغلبها يكون بسبب تلوث الهواء المحيط بالأتربة والعوالق ... وعلاج هذا الأمر بالفلاتر كما قلنا من قبل أو إضافة "الأنتي فوم" ويظهر الفوم بلون داكن كما بالصورة:

مداخلة المهندس نادر النجار:

كذلك فإن ارتفاع الـ **pH & alkalinity** بسبب زيادة دورات التركيز قد تؤثر على عمل مضادات الترسيب والتآكل ومن الممكن أن تؤثر على عمل البايوسايد.

6- منتجات ثانوية ناشئة من عمليات النمو البيولوجي (مواد بروتينية)

Protein byproducts from microbiological growth:

وأهم هذه الكائنات هي البكتيريا اللاهوائية ... ذكرناها هنا من باب العلم بالشئ ... لكن في المعتاد لا تظهر مع أبراج التبريد نظراً للتهوية العالية إلا في المناطق الميتة أو تحت الرواسب ... وتتطلب هذه الحالة استخدام بايوسيد غير مؤكسد بجانب المؤكسد ... وإضافة الـ **Bio-dispersants** الذي تحدثنا عنه.

ويجب هنا عند إضافة البايوسيد الأخذ في الحسبان ما يُسمى بال **HTI** أو الـ **Holding time index** أو زمن التلامس **Contact time** المطلوب.

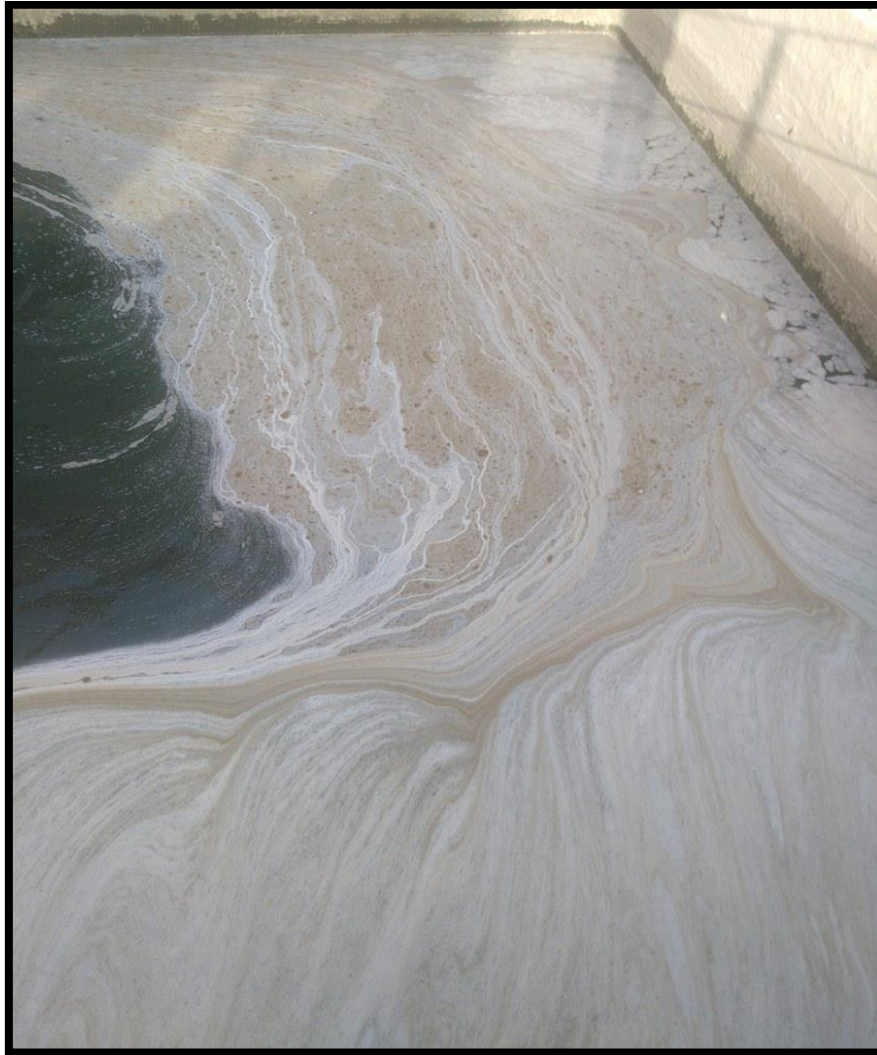
7- قلوية زائدة **High alkalinity**: ويتم علاجها بزيادة جرعة الحمض المضاف.8- تلوث من المصنع نفسه **Process contamination**:

قد يكون تلوث بمواد عضوية (هيدروكربوني كزيوت أو شحوم أو بوليمرات) بسبب تسريب من المصنع عبر المبادلات كما يحدث مع بعض الصناعات البترولية أو البتروكيماويات ومصانع الزيوت.

والتلوث بالمياه العضوية يتم حله بالتعقيم بالكلور مع زمن تلامس مناسب يضمن التخلص من كل هذه المواد والغسيل الجيد (الشطف) بعدها حتي لا يسبب فوم مرة أخرى ... ويتم تنظيف المواسير والحوض والحشو ... والأفضل اخراج الحشو وتعقيمه وغسله خارج البرج.

والحل لو كانت زيوت هو عزل البرج وعمل تصفية للمياه وتنظيف البرج والاستبدال بمياه جديدة ... أو عمل تطويف للزيت ليطفو فوق السطح وعمل Overflow في الحوض السفلي للبرج أو كشطه ب skimmer أو يتم إضافة مشتتات الزيت oil dispersant أو مشتتات بيولوجية bio-dispersants تبعاً لحجم وكمية التسريب ... مشكلة الزيوت والدهون خطورتها في احتمالية حدوث حريق بجانب أنها تقلل من كفاءة الانتقال الحراري سواء في المبادل أو برج التبريد.

انظر إلى المياه وقد تكونت بها الرغاوي لمصنع زيت:



9- مواد منظفات surfactants:

تنشأ نتيجة تنظيف القاع مثلاً بالمنظفات الصناعية بدون شطف جيد وبالتالي تدخل هذه المواد الدائرة وتسبب الرغاوي.

ملحوظة: يجب عدم الإفراط في جرعة الأنتي فوم لأنها هي نفسها تسبب الفوم لو كانت زائدة عن الحد ... ومن الممكن أن يقوم الكحول (أيزو بروبانول) بعمل مضاد للرغوى برشه على السطح.

مداخلة المهندس أيمن عوني في تأثير الفوم وعلاجه:

الرغوة تؤثر في مضخات تقلب المياه وقد تؤثر بالسلب علي مروحة المضخة وكذلك علي كفاءة التبريد لقلة المياه بسبب وجود الرغوة.

فيه antifoam من الممكن أن تضيفه مع مضخة الحقن مع مواد المعالجة ويشتري من أي شركة معالجة متخصصة حتى لا يؤثر على البرج ... وبالنسبة لقاتل الرغوة ففيه منه (سيليكون base) وفيه منه (non-silicon base) وتُضاف بنسب قليلة جداً

مداخلة المهندس ياسر المحمد:

الرغوة إن وُجدت وبمنسوب عالي ستؤثر على قراءة level switch وعليه النسبة تتغير وتحصل عشوائية كبيرة بالضخ.

المهندس مدحت سعيد خليفة:

The type of biocide which has the foam effect is ammonium salt biocide -

Quaternary ammonium salt for example

As i mentioned ammonium salts biocide cause the foam = Didecyl-Dimethyl-Ammonium Chloride

تعقيب المهندس أيمن عوني في تأثير الفوم وعلاجه:

هذه المادة من المواد المسببة للرغوة لأنها تكون مُعلقة علي مادة التيكسابون (S.L.S)

المهندس مدحت سعيد خليفة:

To avoid foam you can use Isothiazoline biocide type.

تعقيب المهندس أيمن عوني:

وهذه المادة تستخدم بالتناوب مع المادة السابقة (كواتس).

تعقيب المهندس مدحت سعيد خليفة:

Yes, But you can use it alone with keeping free chlorine 0.2 ppm and results will be stable.

المشكلة الثانية: مياه بيضاء مع رغوة!

زميل يسأل عن سبب تغير لون مياه برج التبريد الى اللون الأبيض حيث يستخدم البرج في صناعة السكر ... ما هو سبب الفوم وما هو سبب تغيير لون المياه إلى اللون الأبيض؟؟



تعليق المهندس عاصم العراقي:

قد يكون هناك تسريبات في خطوط دائرة الماء اوتسريب في ألواح المبادل الحراري تؤدي إلى اختلاط المنتج (السكر) مع circulating water مما يؤدي إلى ظهور هذه المشكلة والعامل بالموقع يستطيع يكون احتمالات ويتابع من أين المشكلة ... إضافة إلى أنه يجب عمل فحوصات للماء مثل الفحوصات العضوية.

المشكلة الثالثة: انخفاض في الأس الهيدروجيني في مياه برج التبريد!

الجواب:

الطبيعي أن تزداد الـ pH ... أما أن الـ pH تقل - وهذا نادر - فهو يرجع لعدة أسباب مجتمعة أو متفرقة:

1- إضافة جرعة زائدة من الحامض أو حدوث تسريب من الحامض في أى أجزاء من النظام.

2- أن تكون المياه مصدرها صرف صناعي الأس الهيدروجيني لها منخفضة.

3- زيادة التلوث الميكروبي الذي يسبب افراز أحماضاً تقلل الـ pH.

4- إضافة جرعة زائدة من غاز الكلور الذي يسبب انخفاض في الـ pH.

5- أن يكون مصدر المياه بيريمت الـ RO الذي يمتاز بـ pH منخفضة قد تصل لأقل من 6.

6- زيادة جرعة الأنטיسكيل الحمضي.

والحل المؤقت إما عمل تفوير لجزء من المياه وادخال make-up لرفع الـ pH ... أو إضافة صودا (هيدروكسيد صوديوم بمقدار).

كما قلنا أنه يتم إضافة حمض لخفض الـ pH التي ترتفع فى منظومة برج التبريد وضبطها فى المدى الموصى به ... وأحياناً يتم إضافة مادة قلوية كما ذكرنا من قبل ...

لتكن هذه المادة التي ترفع الـ pH هي الصودا الكاوية ... حيث تقوم بالتفاعل مع حمض الكربونيك (أو ثاني أكسيد الكربون) الذي تكوّن بسبب الجرعة الزائدة من الحامض والتي تسببت في انخفاض الـ pH ... انظر التفاعل التالي:



ناتج التفاعل أيون الصوديوم بجانب البيكربونات التي تكون هي السائدة فى مدى الـ pH المطلوب ... ولكن يجب الاحتراس عند إضافة المادة القلوية وهو أنه لا تزيد عن حد معين وإلا زادت الـ pH عن الحد المسموح به وزادت مخاطر ترسب الأملاح ... وفى المتوسط يجب أن لا تزيد القلوية الكلية (وهى الـ M-Alkalinity) عن 100 جزء فى المليون وهي التي تعبر عن كل أيونات الهيدروكسيد والبيكربونات كما أن القلوية الجزئية أو الـ P-Alkalinity والتي تعبر عن أيون الهيدروكسيد ونصف أيونات البيكربونات يجب أن تساوي صفر أو تقترب من الصفر ... بمعنى أنك لو وضعت فينول فتالين في العينة فتجده لا لون له colorless أي أقل من أو يساوي 8.2 pH أو يحتاج لبضع نقاط قليلة من حمض الهيدروكلوريك من السحاحة ليتحول لعديم اللون عند هذه النقطة (وقيم القلوية المطلوبة كما نقول دائماً حسب التوصيات).

وهناك جداول تُعطي القيمة المطلوب إضافتها للحامض كي تحافظ على قيمة معينة من الـ pH.

أيضاً يجب عمل تعقيم للدائرة لو كان البايوفاولينج عالي.

المشكلة الرابعة: مياه سوداء داخل برج التبريد!

بعض الأحيان عندما يزيد التلوث الميكروبي والبكتيري ينتج أحماضاً عضوية organic acids تتفاعل مع سطح المعادن بجانب انخفاض الـ pH ... وقد تنمو بكتيريا اختزال الكبريتات Sulphate reducing bacteria بكثرة وتسبب اللون الأسود للمياه ويظهر أيضاً من رائحة المياه المميزة للكبريت.

المشكلة الخامسة: مشاكل في التانين!

سؤال لزميل:

ما سبب ترسب التانين داخل جركن الكيماويات حتى قبل إضافته إلى الماء؟؟؟ من ناحية يشبه العفن ومن الأخرى يشبه الأسفنج؟؟



رد المهندس أيمن عوني عيد:

يحتوي التانين أيضاً علي نسبة عالية من الجلوكوز ومعروف ان الجلوكوز من المواد الغذائية الجاذبة للبكتيريا ولذلك يحدث العفن ... وهذا بسبب خلل في التركيبة نفسها والتي تختلف من شركة لشركة.

رد المهندس ناجي سعيد عبد المطلب:

عيب صناعة ولاشئ غير ذلك.

سؤال متدرب:

عندي دائرة chilled water أستخدم فيها التانين كمثبط للتآكل فعندي فقد في نسبة التانين ولا أعرف مكان مصدر الفقد وتم التفتيش في المصنع على كل النقاط فلم يوجد تسريب في أي مكان حتي ال coils ... وتم متابعة عداد ال flow rate الخاص بالتانك الذي يعوض التشيلر ما في فقد ... فأين تذهب النسبة المفقودة

رد المهندس أيمن عوني عيد:

لا يوجد فقد ... بل في دوائر التشيلر التي يتم معالجتها بالتانين أو النيتريت غالباً ما يحدث انخفاض في التركيز بسبب تغذية البكتيريا علي هذه المواد ... وبعد فترة قد تجد رائحة المياه في الدائرة أصبحت كريهة ... عندها يجب أن تغسل الدائرة وتعقمها وتضيف تانين جديد ومعاة مضاد الطحالب (يُنصح دائماً بمعالجة الميكروأورجانيزم بمواد مضادة للبكتيريا والطحالب أو بايوسايد غير مؤكسد Non oxidizing biocides).

استفسار المتدرب:

وهل ال non oxidizing biocides لا تقلل من تركيز النيتريت وتحوله الى نترات؟؟

رد المهندس أيمن عوني عيد:

لا طبعاً لأنها غير مؤكسدة بل تكون مواد هيتيرو Heterocyclic compounds.

رد المتدرب:

بالفعل أضفت مضاد للبكتيريا والطحالب وبقيت النسبة ثابتة من آخر مرة.

المشكلة السادسة: انخفاض العسر عن مياه التعويض!سؤال متدرب:

ما سبب انخفاض عسر مياه برج التبريد عن 100ppm بالرغم من أن العسر في مياه التعويض 120 ppm ودورات التركيز 3 ... هل يمكن أنه هناك ترسيب للعسر بسبب استخدام مانع الترسيب؟

رد المُحاضر:

لو التحليل المعمل صحيح يجب النظر إلى تكون ترسبات ملحية! والتفوير يقلل الأملاح والعسر ولكن لا يمكن تقليلها عن مياه التغذية إلا إذا كان هناك سبب آخر يقللها وهو حدوث ترسبات كالسيوم أو ماغنيسيوم في أماكن قد تخفى على المشغلين.

رد المهندس أيمن موسيليني عارف:

لو بتعمل خلط لمياه التعويض مياه RO مثلاً أو عندك سوفتر في هذه الحالة من الممكن أن يكون العسر داخل البرج أقل من العسر في المياه الخام ... ولو مصدر التعويض واحد يكون فيه خلل ما قد يكون ترسبات وهذه تظهر على الدلتا تي Delta T على المبادلات الحرارية بسرعة وعلى كفاءة البرج من حيث الدلتا تي لأنه مستحيل يكون عدد دورات التركيز 3 مثلاً وتكون أملاح التعويض أعلى من

الأملاح داخل البرج ... وهذه الحالة تنطبق على القلوية حيث القلوية داخل البرج تكون أقل من القلوية في مياه التعويض بسبب إضافة حمض الكبريتيك للتحكم في الـ pH ... وانخفاض القلوية يقابله زيادة في أملاح الكبريتات ...

أما مانع الترسيب فهو لا يقلل العسر بل دوره منع الترسيب ويجعله في صورة ذائبة وإذا قل العسر معناه أنه يوجد ترسبات في النظام ويوجد خلل ما.

المشكلة السابعة: ضعف التبريد في أبراج التبريد:

فقد في كفاءة التبريد وبالتالي ارتفاع درجة الحرارة عن الطبيعي قد يرجع إلى عدة أسباب منها:

- 1- عدم انتظام تيار الهواء أو فقدته فيجب عمل مراجعة على اتجاه دوران المراوح وسرعتها ... إلخ.
- 2- سحب هواء دافئ أو ساخن من البيئة المحيطة: فيجب عمل مراجعة على الهواء المحيط بالبرج ... هل درجة حرارة الجو ارتفعت عن المتوسط؟ هل هناك وحدة تم وضعها بجانب البرج تخرج هواء ساخن ... إلخ.

- 3- ارتفاع درجة رطوبة الجو أو إعادة الهواء الرطب الخارج من البرج إليه ... أي recycling فيجب مراجعة سرعة الهواء داخل البرج وأن تكون تبعاً للديزائن الموصى به.

- 4- سد بالانزول أو الحشوات داخل البرج بسبب فاولينج أو اتساخات أو قشور ملحية وبالتالي يجب عمل تنظيف كيميائي ... إلخ.

- 5- عدم ضبط معدل سريان المياه إلى داخل البرج بمخالفة توصيات الديزائن.

هذا ويُنصح بقراءة المناقشة الخاصة بكفاءة أبراج التبريد (المناقشة السابعة).

المشكلة الثامنة: تسريب غاز طبيعي إلى مياه التشيلر!

سؤال متدرب:

حدوث تسريب للغاز الطبيعي دخل مياه دائرة تبريد مغلقة أدى إلى انخفاض ملحوظ في البي إتش pH ... فما السبب؟

رد المحاضر:

بالنسبة للغاز الطبيعي Natural gas فهو يحتوي على مكونات كثيرة أولها الهيدروكربونات بداية من المكون الرئيسي وهو الميثان من CH_4 ونختصره باسم C_1 ... وتزيد السلسلة الهيدروكربونية كالتالي: $C_2 \leftarrow C_3 \leftarrow C_4$ وتصل إلى C_6 والمركبات الأثقل منها (C_6 & heaviers) .. وهي مواد عضوية لا تذوب في الماء لكن تكون معها أحياناً ما يُسمى بالمستحلب Emulsion خاصة لو كان فيه مركبات هيدروكربونية طويلة السلسلة.

تفسير الظاهرة السابقة يكمن في أن الغاز الطبيعي يحتوي عادة على عدة شوائب هي التي تذوب في المياه وتقلل الـ pH مثل ثاني أكسيد الكربون الذي قد يصل لأكثر من ٢% من محتوى الغاز الطبيعي وطبعاً يذوب في المياه ليكون حمض الكربونيك ... بجانب كبريتيد الهيدروجين H_2S الذي يكون مصاحباً

لبعض آبار الغاز الطبيعي وهو يذوب في المياه ويقلل البى اتش ... وبهذا فإن هذه الظاهرة وضح
تفسيرها ١٠٠%

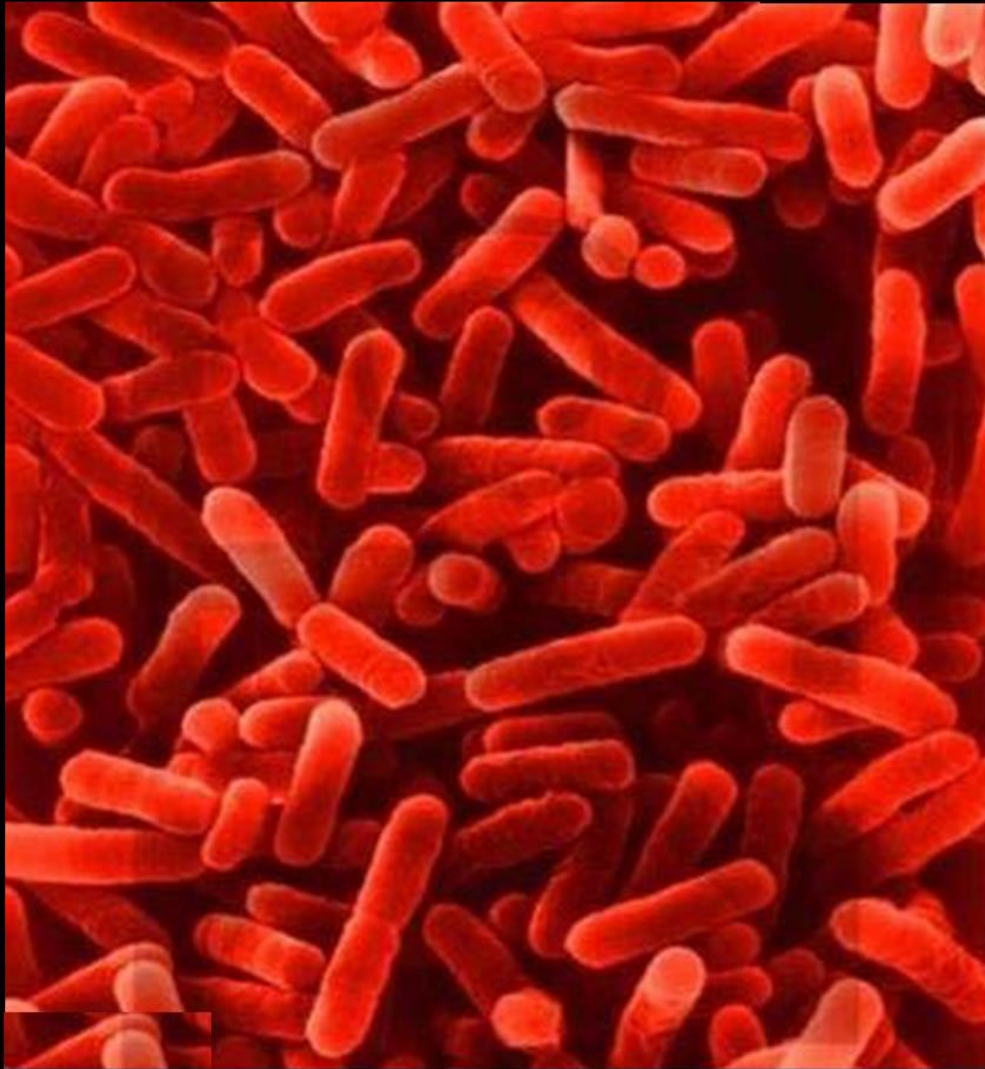


WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

31

الليجونيلا القاتلة!

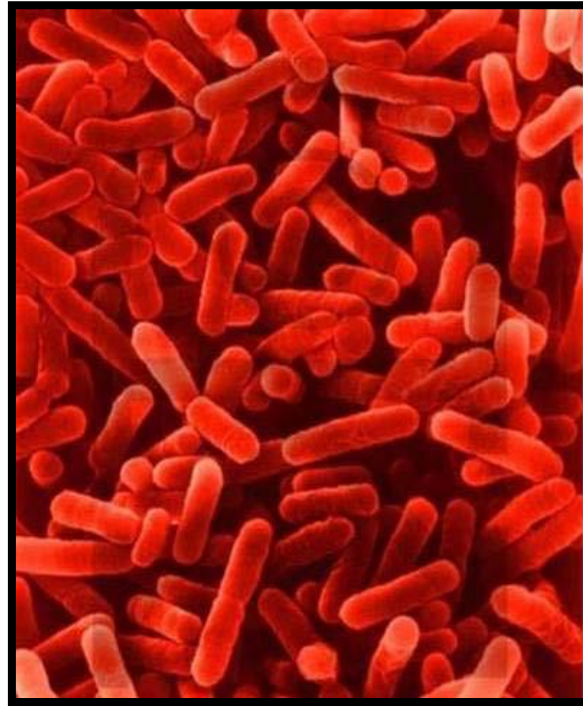


النقاش الحادي و الثلاثون :-**31- الليجيونيليا القاتلة!**

دلت الدراسات على أن 40 – 60% من أبراج التبريد تحتوي على البكتيريا القاتلة المُسمّاة "الليجيونيليا"!

تابع التعليقات ...

الليجيونيليا *Legionella* نوع من البكتيريا المزعجة من نوع rod-shaped ... لها حوالي 37 نوع ... أشهرها نوع اسمه *Legionella pneumophila* ... تنتشر في المياه الطبيعية سواء مياه الآبار أو المياه السطحية من أنهار وبحيرات وغيرها وتسبب أمراض بالرئة قد تؤدي إلى الوفاة ... والعدوى تكون عن طريق استنشاق بخار الماء الذي يحتوي على هذه البكتيريا (أو القطرات التي يحملها الهواء عند خروجه من برج التبريد) ... تدخل الرئة ... وتبدأ الأعراض من ارتفاع كبير في درجة الحرارة ورعشة وصداع وألم بالعضلات ... ثم يتطور الأمر إلى كحة جافة وصعوبة في التنفس وقيء أحياناً ... مرض خطير اسمه الـ Legionellosis! ونسب الوفيات تتراوح من 10 - 20% من المصابين بها!



مشكلة هذه البكتيريا أنها تقاوم التعقيم بالكلور بتركيزاته العادية ولذلك قد تصل إلى مياه الشرب بالبيوت والمصانع ... وتظهر في مياه أبراج التبريد ... وطبقة البايوفيلم على جدران برج التبريد تعتبر مسكناً رائعاً لهذه البكتيريا ... بجانب بعض البروتوزوا تعتبر عائلاً host جيداً للليجيونيليا ... ومع الـ drift الذي تحدثنا عنه تنتشر قطرات المياه على هيئة إيروسولات على جانبي البرج ومعها الليجيونيليا فيستنشقها العاملون بسهولة وتحدث الإصابة.

درجة الحرارة المناسبة لنمو هذه البكتيريا من 20 - 45 درجة مئوية ... وتموت في الحال لو درجة الحرارة زادت على الـ 60 درجة مئوية ... أفضل الأماكن لنموها هي المياه الراكدة مثل الـ cold basin في قاع برج التبريد.

وكالة السلامة والصحة المهنية (الأوشا) OSHA لها توصيات كما بالجدول التالي:

عدد بكتيريا الليجونيلا في برج التبريد	التصرف المطلوب
أقل من 100 Cfu/ml	لا خطورة
100 – 1000 Cfu/ml	نحتاج لتنظيف البرج وتعقيم بالبايوسيد
أعلى من 1000 Cfu/ml	لا بد من التعقيم الفوري لمنع تعرض العاملين لها

وتمت التوصيات بعمل اختبار ميكروبيولوجي نصف سنوي في الحالات العادية لاختبار وجود هذه البكتيريا ببرج التبريد (في الكتلة المائية Water bulk) أو عينات من الـ sessile.

كيف نقاوم بكتيريا الليجونيلا؟

- 1- مقاومة البايوفوللينج والنمو الميكروبيولوجي والحفاظ على النظافة بوجه عام في برج التبريد سواء في الكتلة المائية أو على الجدران يقلل من فرص نمو هذه البكتيريا (لا نزيد عن الحد الأعلى للعد البكتيري).
- 2- مقاومة التآكل وحدوث الـ scaling يقلل من البايوفوللينج كما ذكرنا.
- 3- تصميم دائرة التبريد بحيث نقلل من أماكن الـ Dead zone لأن ركود المياه يشجع النمو السريع للبكتيريا ... كما يجب تقليل الـ drift على قدر المستطاع بواسطة تصميم الـ drift eliminator ... وبالنسبة للوحدات Louvers يجب تصميمها بحيث تمنع الـ spray كما يجب أن لا تكون أحد الألواح تالفة ... وفي هذه الحالة يجب التغير والصيانة بعد الكشف الدوري.
- 4- محاولة الحد من مصادر تغذية البكتيريا (المواد المغذية Nutrients كمركبات الفوسفور والنيتروجين وغيرها).
- 5- الحد من عكارة المياه حيث أن سطح المواد الصلبة العالقة تكون بيتاً جميلاً لنمو البكتيريا ... يتم ذلك مثلاً باستخدام الفلتر الجانبي Side Stream Filtration الذي تحدثنا عنه من قبل بجانب جودة مياه التعويض.
- 6- إزالة المواد العضوية وبقايا الـ debris أولاً بأول والتي تتراكم في الحوض السفلي للبرج Cold basin أو في النوزلات ... إلخ.
- 7- لا يوجد بايوسايد خاص يُستخدم لمقاومة الليجونيلا ... فالبايوسايد التقليدي كالكلور والبروم يتم استخدامه ... كما أن البايوسايد الغير مؤكسد والمشتتات البيولوجية لو استخدمت بجانب الكلور يعطي نتائج جيدة ... والمهم هو الحفاظ على الجرعة المطلوبة ولا نقلل عن الحد الأدنى (يمكن نصل بالكلور المتبقي الحر إلى 1 - 2 جزء في المليون لمدة ساعة على الأقل).

8- قد نضطر لزيادة جرعة الكلور أو الهالوجين فيما يُعرف بعملية ال Hyperhalogenation في حالة الإصابة الكبيرة بالياوفاولينج أو حدوث تسريب من المنظومة أو استخدام مياه مُعاد معالجتها كمياه تعويض make-up أو في حالة زيادة البكتيريا الهوائية عن ال 100,000 CFU/ml أو زادت الليجونيلا عن 100 CFU/ml.

تتم العملية دورياً بحيث نحصل على كلور متبقي 5 جزء في المليون لمدة ست ساعات على الأقل ... والحالات الخطيرة يتم الحصول على كلور متبقي 10 جزء في المليون لمدة 24 ساعة ... والخبير يستطيع بخبرته تحديد الجرعة المناسبة لكل برج. خبراتكم مع الليجونيلا مُرحب بها ...

المهندس عبد الجابر صلاح لهلوب:

استخدام مادة الكلورين دايوكسايد هو حل فعال لليجونيلا ويقضي تمام على البيوفيلم ... كما أنه يُستخدم كميات قليلة منه وتخفف استخدام البايوسايد ... وهو حالياً ما يتم استخدامه في كثير من الفنادق العالمية لخطورة هذا المرض على النزلاء ... لأنه يتكون أيضاً في شبكات المياه الباردة والساخنة وخاصة "الدوشات" حيث تتضاعف الخطورة بالإصابة بهذا المرض. هيئات المياه في الإمارات والسعودية بالفعل ابتدأت باستخدام الكلورين دايوكسايد كمُعقم بديل عن الهايبوكلورايت وغاز الكلور.

سؤال متدرب :

هل ممكن لهذا النوع من البكتيريا أن يعيش في خطوط المياه المثلجة؟ أي في الدائرة المُغلقة؟
ما الحل إذا حصل تسريب للمياه؟ هل البايوسايد غير المؤكسد مناسب للقتل تلك النوع من البكتيريا؟

رد المُحاضر:

بالنسبة للبايوسايد الغير مؤكسد نعم كما أوضحنا ... بالنسبة للمياه الباردة تحت العشرين وحتى الصفر للأسف لا تقتل البكتيريا في الغالب ولكن توقف تكاثرها.

المهندس عماد حمدي الملاح:

حالياً وزارة الصحة جعلتنا نضع أقراص في حوض تجمع مياه التكثيف بالإسبليت ... لمنع حدوث اللايجونيلا ... وأيضاً لا بد من عمل Over Flow في حمامات السباحة ... لعدم ركن المياه علي الجوانب ... وخفض درجة حرارة المياه بخزانات Product Water إلى 25 درجة مئوية أو أقل .. وذلك لعدم إتاحة الفرصة لنمو هذا النوع من البكتيريا الخطيرة ... ويتم خفض الحرارة بالتهوية الجيدة للخزان وهذا طبعاً لا يحدث لأن درجة حرارة الجو عالية ولا يوجد عزل علي سطح الخزان.

بالنسبة لل over flow للمسابح ... عند تصميم المسابح يتم عمل جريلات علي جوانب المسابح كي تُجمع المياه الزائدة عن المسبح ... وحالياً ال Over Flow حيث يتم رفع ملء منسوب المسبح عن آخره لدرجة المياه تنزل في الجريلات باستمرار لتعود إلي خزان المياه ويتم إعادة الفلترة لهذه المياه وإعادتها إلي المسبح ... يعني حمام السباحة يكون في عملية دورة مغلقة للمياه ... المياه بالخزان ثم

المرور بالفلاتر الرملية ثم الخروج لحمام السباحة ثم العودة للخزان عن طريق الجريلات أو الفتحات الموجودة علي جوانب حمام السباحة.



سؤال ميكروبيولوجي: ما هي الإختبارات الخاصة بالكشف عن بكتيريا الليجونيليا في أبراج التبريد والمساح وغيرها؟

المهندس أيمن موسيليني عارف:

بالنسبة لخطورة استنشاق الرذاذ الخارج من البرج قد تتواجد بكتيريا Legionella ... وهذه طبعاً خطيرة جداً ولها مضاعفات على الرئتين ... وأعراضها حراره مرتفعة باستمرار وقشعريرة وإسهال وسعال وألم في العضلات ... وطبعاً لو شخص عنده تلك المضاعفات فيجب الذهاب للطبيب فوراً وإجراء الفحوصات اللازمة

تعقيب المهندس أحمد محمد محمود:

وهذه من ضمن المشاكل التي تعرض لها بعض النزلاء في فنادق المناطق السياحية ... وصلتنا استفسارات من إدارة الفنادق والقرى السياحية عن كيفية القضاء على بكتيريا الليجونيليا.

المهندس شُعيب محمود شعبان:

نظراً لوجود البيئة المناسبة لنمو البكتيريا والكائنات العضوية الدقيقة والطحالب مثل المياه والرطوبة وضوء الشمس في بعض الحالات فقد وجد الباحثون أن هناك العديد من البكتيريا الضارة للإنسان قد أصبحت مُلزمة لأبراج التبريد مثل بكتيريا الليجيونيلات التي تسبب مرض Legionellosis أو Legionnaires' disease ... وعلى الأخص L. بنوموفيل ... وتعتبر أنواع الليجيونيلات المختلفة هي السبب في مرض الليجيونير (في الرئتين) في الإنسان وينتقل عبر التعرض للرذاذ - وهو استنشاق نقاط الرذاذ الذي يحتوي على البكتيريا ... وتشمل مصادر الليجيونيلات أبراج التبريد المستخدمة في نظم إعادة تدوير تبخر تبريد المياه المفتوحة ... ونظم المياه الساخنة المحلية والنوافير والموزعات المماثلة التي تستخدم في إمدادات المياه العامة ... وتشمل المصادر الطبيعية برك المياه العذبة والجداول ... وجد الباحثون الفرنسيون أن البكتيريا تنتشر عبر الهواء إلى حوالي 6 كيلومترات من برج تبريد كبير ملوث في مصنع للبتروكيماويات في با دو كاليه (فرنسا) ... وتسبب هذا المرض في وفاة 21 شخصاً من 86 تأكد إصابتهم بالعدوى مخبرياً ... أما الرذاذ (أو windage) هو مصطلح يُعبر عن قطرات الماء التي تتدفق في العملية ويُسمح لها أن تهرب خلال مصرف برج التبريد ... وتستخدم مزيلات الركام من أجل التحكم في معدلات الانحراف عادة إلى 0.001 % - 0.005 % من معدل التدفق الدائر ... توفر مزيلات الركام القياسية العديد من التغيرات الإتجاهية لتدفق الهواء في حين أنه تمنع هروب قطرات الماء ... يمكن أن تقلل مزيلات الرذاذ المُصممة جيداً والمجهزة جيداً من كميات المياه المفقودة والمحتملة لليجيونيلات أو التعرض للمواد الكيماوية الأخرى.

طورت العديد من الوكالات الحكومية ومصنعين أبرج التبريد والمنظمات التجارية الصناعية تصميم وصيانة مبادئ توجيهية لمنع أو الحد من نمو بكتيريا الليجيونيلات في أبراج التبريد. وفي معالجة ذلك فهناك العديد من المركبات الكيميائية والبيولوجية التي يتم استخدامها في القضاء على أو منع ظهور تلك الأنواع من البكتيريا مثل بعض مركبات الألدهيدات والهالوجينات مثل الصوديوم هيبوكلوريت والكالسيوم هيبوكلوريت والأيزو سيانوريك كلوريد .

تعقيب المهندس عبد الرزاق التومي:

بكتيريا الليجيونيلات ليست Rod وإنما pleomorphic يعني من الممكن أن تكون عصوية أو كروية أو أي شكل مختلف والإصابة قد تنتج من رذاذ الماء البارد وليس بخار الماء فهي تفضل العيش في درجات حرارة ما بين 20-60 درجة مئوية وتتأثر بدرجات الحرارة العالية والمنخفضة.

رد المُحاضر:

الأيروسولات تكون مصاحبة لبخار الماء ولو من بعيد في منطقة discharge وبالتالي تتضمن الليجيونيلات ...

وعن اكتشاف والفحص الميكروبيولوجي لبكتيريا الليجيونيا وهل هذه البكتيريا مرئية ولونها أحمر وهل التحليل المعمل هو الTBC أو الTotal bacterial count أم تحليل آخر خاص تحدث الزملاء:

رد المهندس عبد الرزاق التومي:

بالغرام السالب Gram negative.

رد المُحاضر:

لا ليس لونها أحمر في الطبيعة بل يتم صبغها بصبغة جرام فتظهر باللون الأحمر نستطيع التعرف عليها تحت الميكروسكوب.

رد الدكتور محمود جمعة حسين:

إما عن طريق BCYE agar وهي تحتاج مضادات حيوية ويجب التأكد بالantisera.
أو عن طريق enzyme substrate الخاص ب idexx.
أو عن طريق ال PCR.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

32

مياه البحر
وأبراج
التبريد!!



النقاش الثاني و الثلاثون:-32- ظهور اللون الأخضر في قوارير المياه المعدنية

مياه البحر وأبراج التبريد!

هل يُمكن استخدام مياه البحر في أبراج التبريد؟؟

الجواب: نعم!

وهو معمول به في عدة بلاد ومن ضمنها المملكة العربية السعودية ... وله مميزات وبالطبع له عيوب ومحاذير!

الاختصار هو SWC أو Sea Water cooling.



المياه المالحة Salt water تُطلق على المياه التي تحتوي على أيون الكلورايد بتركيز أعلى من 750 جزء في المليون ...

Salt water has chloride > 750 ppm (as NaCl)

مصدر الـ salt water يكون من البحار أو المحيطات أو مصبات الأنهار في البحار أو الآبار المالحة. قد يكون الكلورايد في مياه الـ make-up أقل من 750 جزء في المليون ومع زيادة دورات التركيز في دائرة التبريد يصل لأكثر من ذلك فيتحول إلى salt water.

رأينا من قبل نظام التبريد المفتوح Once through cooling وقلنا أنه يستخدم في المعتاد مياه البحر بغرض التبريد عن طريق مبادلات حرارية ثم يلقيها مرة أخرى في البحر بدون تدوير في النظام.

والآن نتحدث عن برج التبريد الذي يحدث في منظومته إعادة تدوير للمياه ...
طبيعة مياه البحر ... أملاح كلية ذائبة TDS تتراوح بين 35 ألف جزء في المليون و 45 ألف جزء في المليون ...

التأثير على كفاءة البرج:

كفاءة برج التبريد تقل 1% كلما زادت الأملاح 1% (أى 10000 جزء في المليون) وهى نسبة غير مؤثرة ... فيمكننا بالطبع استخدامها في التبريد ...

(مثال: وُجد أن كفاءة برج التبريد من نوع mechanical drift تقل من 2 -4% عند مياه لها أملاح كلية ذائبة (TDS = 55000 ppm).

وللتغلب على نقصان الكفاءة يتم:

- 1- زيادة حجم البرج.
- 2- زيادة قوة المراوح.
- 3- تقليل معدل السريان للمياه داخل البرج circulating rate.

والمشكلة الحقيقية تكمن في ...؟؟

إذا عقدنا مقارنة بالمياه العذبة fresh water نجد أنها أسوأ بالطبع في تركيز الأملاح الذائبة ونسبة المواد العضوية والفاولينج والبيوفاولينج والتآكل يكون أعلى.

فلا بد من تقليل دورات التركيز (تقع بين 1.5 – 2.5 حد أقصى ... والمثالي 1.5) بجانب المعالجة الكيميائية ... والتي تتضمن إضافة أنتيسكيل ومضادات التآكل والبايوسيد والمادة المشتتة.

أهم شيء هنا أن حجم مياه التفوير يتضاعف بالمقارنة في الفقد خلال عملية التبخير!

فقد رأينا مع المياه العذبة أن المياه المفقودة في التبخير أكبر من المياه المفقودة من التفوير ... أما هنا نجد أن كمية التفوير ضعفي كمية المياه المتبخرة على الأقل ... والهدف هو الحفاظ على أملاح لا تزيد عن 50000 جزء في المليون.

بالنسبة للبايوفاولينج يتم حقن ماء التغذية بالكلور (حوالى 2 مللى جرام/لتر) مع عمل كنترول على الpH.

المواد المستخدمة:

لو استخدم الخشب قد يحدث له fiber losing أو تفكك وفقدان للفاير.

لا يمكن استخدام الحديد الكربوني carbon steel ولا الاستانلس ستيل العادي مع مياه البحر حيث

يحدث الcorrosion cracking ... ولا يمكن استخدام الduplex stainless steel alloy ...

نستخدم هنا الsuper- duplex alloy مثل:

1- السبائك النحاسية مع الألومنيوم (Aluminum brass) وتتطلب مياه نظيفة ورائقة ولا تزيد

درجة الحرارة عن 50 درجة مئوية أو 80 درجة مئوية مع وجود الحماية الكاثودية.

2- سبائك النحاس والنيكل مع تطعيم بحديد 1 % و منجنيز 1%

3- خليط من النوعان السابقان.

4- يمكن استخدام التيتانيوم لمنع التآكل في المبادل الحراري!

5- يُمكن استخدام FRP مع المياه المالحة بأمان وهو أفضل خيار سواء للبرج أو اللوحدات أو جسم المراوح.

يجب تجنب الخرسانة الأسمنتية كمادة للصنع لحدوث تآكل وتشققات بها بسبب الأملاح ... وإن كانت هناك بعض الأنواع المقاومة لهجوم الكبريتات ويُمكن استخدامها وتمتاز بنسبة عالية من الأسمنت بالنسبة للمياه وكثيفة dense غير نفاذة (Type II)... نفس الأمر للخشب.

ولكن المفاجأة السارة...؟؟؟

القلوية الكلية منخفضة جداً في مياه البحر ... قد لا تصل إلى 200 جزء في المليون والـ pH يكون في حدود الـ 8.2 ... وأيون الكالسيوم يكون في المعتاد على هيئة كلورايد $CaCl_2$ وبالتالي ترسب كربونات الكالسيوم نستطيع السيطرة عليها بضبط عملية إضافة الحمض مع الأنتيسكيل ... هناك أيضاً يجب الاحتراس من كبريتات الكالسيوم التي تصل إلى 1200 جزء في المليون وكبريتات الماغنسيوم التي تصل لأعلى من 2000 جزء في المليون.

من مزايا استخدام مياه البحر في أبراج التبريد:

أهم مميزات استخدام مياه البحر في أبراج التبريد هو تقليل حجم المياه التي نستخدمها ونتخلص منها (بنسبة 95% من حجم المياه المستخدمة في الـ once-through cooling) وبالتالي توفر في تكاليف التشغيل والطاقة المستخدمة (حوالي 60% من تكاليف الـ once-through cooling وحوالي 40% من تكاليف استخدام الـ fresh water).

وأهم مزايا استخدام مياه البحر في أبراج التبريد أيضاً هو الحفاظ على البيئة الشاطئية لانخفاض حجم المياه المطروحة في البحر وهو يتماشى مع التوجه العالمي للحفاظ على البيئة البحرية. المعالجة الكيماوية هنا بالطبع تختلف عن أبراج المياه العذبة.



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

33

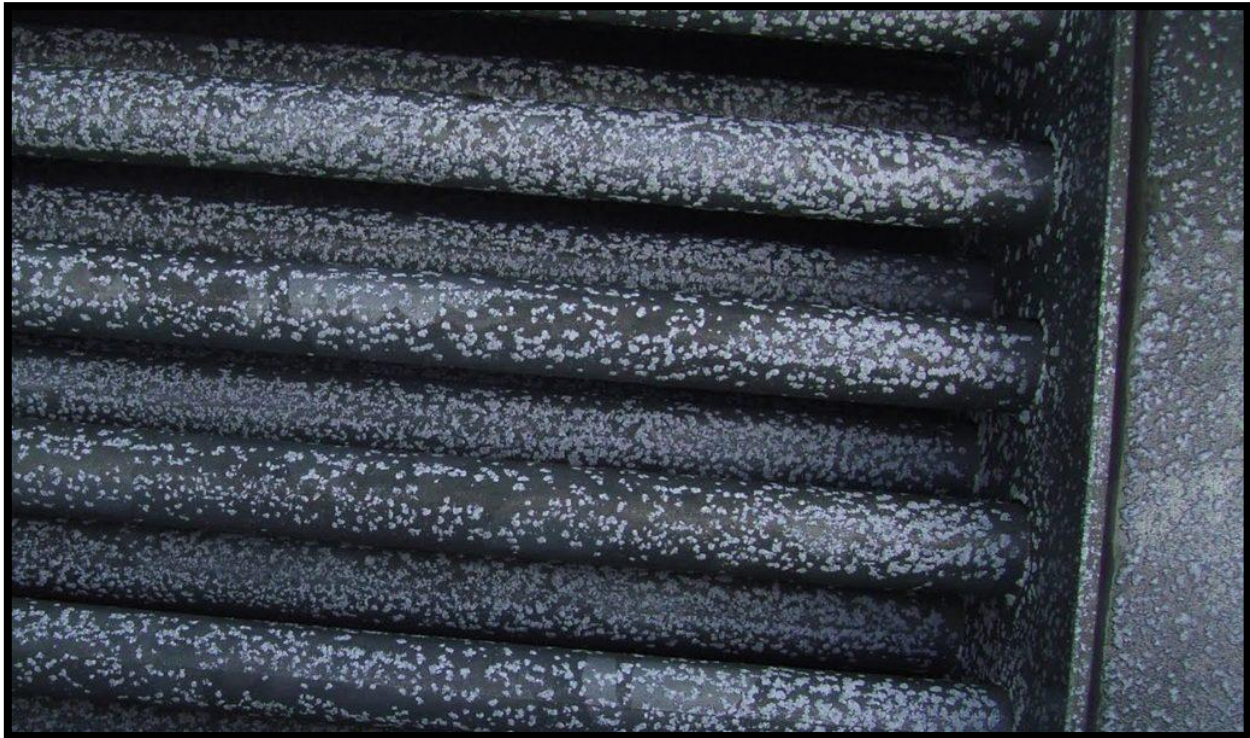
الصدأ
الأبيض!!



النقاش الثالث و الثلاثون:-**33- مشكلة الأجسام البيضاء في المياه المنتجة من محطة الـ RO****الصدأ الأبيض!**

برنامج المعالجة يجب أن يكون متوافق مع المادة التي تُصنع منها وحدة التبريد ...
فمثلاً طبقة الزنك التي تقوم بعمل passivation للحديد المجلفن قد تُزال نتيجة التشغيل السيء الذي يغير
ظروف المياه ... وتظهر على هيئة صدأ أبيض white rust.

يستخدم الزنك كما قلنا في تغطية الحديد الصلب المجلفن Galvanized steel بنسبة تصل إلى 100%
كمانع أنودي لمنع التآكل ويكون طبقة حامية من أوكسيد الزنك Zinc oxide ... بعد إضافة هذه الطبقة
(خاصة مع صناعة هيكل البرج أو مرحلة الـ passivation) ومع بداية التشغيل الخاطئ يحدث تآكل
لهذه الطبقة مكونة هيدروكسيد الزنك (Zinc hydroxide) وهى الصدأ الأبيض الذي يغادر سطح
المعدن وبالتالي يتعرض الحديد للتآكل بعدما أزيلت الطبقة الحامية من الزنك.



وهذه بعض التوصيات لأحد الشركات (مثل شركة إيفابكو Evapco) للحفاظ على طبقة الزنك في التشغيل الأولي للبرج:

يتم عمل **passivation** على الأقل 8 أسابيع ... وتخضع المياه في هذه الفترة للشروط التالية:

- 1- البي إتش لا يزيد عن 8 – 8.2 حد أقصى ولا تقل عن 7 كما قلنا.
- 2- عسر الكالسيوم لا يقل عن 50 جزء في المليون بمياه الدائرة ... والأفضل أن نحافظ عليه بين 100 – 200 جزء في المليون.
- 3- تجنب الكلور الحر Free chlorine والكلورايد والسلفايت يجب أن لا يزيد عن 250 جزء في المليون بمياه الدائرة.
- 4- لا تزيد القلوية الكلية M-alkalinity عن 300 جزء في المليون بغض النظر عن قيمة الـ pH ... والأفضل الحفاظ عليها بين 100 – 200 جزء في المليون.
- 5- لا يجب أن تتعدى الأملاح الكلية الذائبة TDS في ماء الدائرة عن 500 جزء في المليون.
- كما أوصت أنه بعد مرحلة الـ passivation أن يتم الانتقال إلى الخصائص المطلوبة للمياه في التشغيل العادي بصورة تدريجية وليست فجائية وتكون:
 - 1- الـ pH لا تقل عن 6 وإلا أزيلت طبقة الزنك.
 - 2- الـ pH لا تزيد عن 9 وإلا تكون الصدأ الأبيض بعد تشوه طبقة الزنك وعدم ثباته.
 - فإذا وقعت المشكلة فيجب عمل إعادة للـ passivation مرة أخرى.
- 3- عند استخدام التنظيف الكيميائي للبرج في بداية التشغيل كما هو متبع يجب الابتعاد عن المادة القلوية القوية أو الأحماض.
- أيضاً استخدام الموليبدات مع الزنك أو الأورثوفوسفات يثبت طبقة الزنك ويسمح بزيادة الأملاح الكلية والقلوية عن القيم السابقة بدون خوف من حدوث الصدأ الأبيض وبالطبع يجب المتابعة.

تعقيب المهندس أيمن عوني عيد:

بالضبط طبقة الزنك تتأثر بارتفاع القلوية و الـ pH ... وهذه الطبقة من الزنك تكون جيدة في حالة استخدام الفوسفونات وكذلك في قيمة الـ pH تتراوح بين 6.5-9.0 وذلك عن تجربة شخصية وحالة موجودة بالفعل وهذه المشكلة أصلاً حدثت بسبب استخدام الكلور في التعقيم.

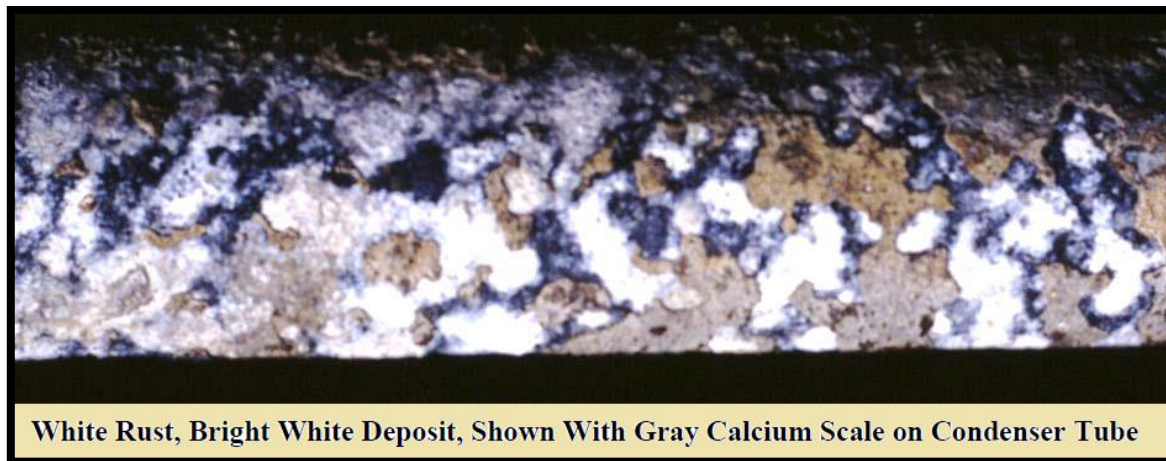
انظر الجدول التالي يتكلم عن التوصيات لخصائص المياه مع المعادن المختلفة:

Property	G-235 Galvanized Steel	Type 304 Stainless Steel	Type 316 Stainless Steel
pH	7.0 – 8.8	6.0 – 9.5	6.0 – 9.5
pH During Passivation	7.0 – 8.0	N/A	N/A
Total Suspended Solids (ppm)*	< 25	< 25	< 25
Conductivity (Micro-mhos/cm) **	< 2,400	< 4,000	< 5,000
Alkalinity as CaCO ₃ (ppm)	75 - 400	< 600	< 600
Calcium Hardness CaCO ₃ (ppm)	50 - 500	< 600	< 600
Chlorides as Cl (ppm) ***	< 300	< 500	< 2,000
Silica (ppm)	< 150	< 150	< 150
Total Bacteria (cfu/ml)	< 10,000	< 10,000	< 10,000

* Based on standard EVAPAK® fill
 ** Based on clean metal surfaces. Accumulations of dirt, deposits, or sludge will increase corrosion potential
 *** Based on maximum coil fluid temperatures below 120°F (49°C)

وبناءً على ما تقدم ... في حالة استخدام الزنك ... ماذا تتوقع لو توقفت ظلمبة ضخ الحمض وارتفعت الـ pH في دائرة التبريد؟ أو تم زيادة الجرعة لتصل الـ pH إلى الدرجة الحامضية القوية؟

والجدول السابق يوضح لنا أن أي نوع من المياه يستخدم كتغذية لدائرة التبريد طالما حقق الشروط والأرقام الموجودة بالجدول ... قد تكون مياه رمادية أو مياه معالجة ... إلخ انظر أنابيب المكثف في الصورة التالية وقد تراكمت عليه رواسب بيضاء من الصدأ الأبيض ومعها قشور ملحية رمادية من الكالسيوم:



وقد قامت أحد الشركات الأمريكية بتلخيص مقاومة تكون الصدأ الأبيض في هذا الشكل البياني بعد تجارب ودراسات:

 Minimizes WHITE RUST Potential	 Promotes WHITE RUST Potential
✓ pH control between 7.0 to 8.5. ✓ Calcium Hardness of 200-400 ppm measured as CaCO_3 ✓ Alkalinity of 200-400 ppm measured as CaCO_3 ✓ Chloride less than 250 ppm ✓ Sulfate less than 500 ppm	✗ pH levels less than 6.0 or greater than 9.0 ✗ Calcium hardness as CaCO_3 less than 100 ppm ✗ Chloride greater than 250 ppm, Sulfate greater than 500 ppm ✗ Calcium less than 50 ppm, combined with high alkalinity (300 ppm) and pH 8.3+

المهندس محمود عبد العزيز رزق أرسل ملف يخص الصدأ الأبيض:

White Rust Prevention

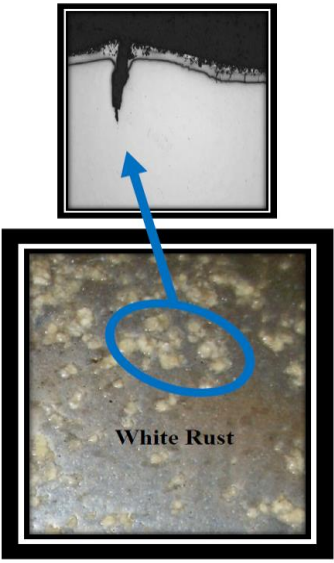
An Industry Update and Guide Paper - 2012

Presented By:
Association of Water Technologies (AWT)



New Galvanizing

Passivated Galvanizing



White Rust

1 of 16

Special Acknowledgements

This is a revision of the original 2002 document version. A product of the White Rust Project team, this document has been updated by the Cooling Technical Committee and Special Projects Committee of AWT. Special thanks is given to the Technical Committee Chairs and AWT Board of Directors for their gracious contribution of time and knowledge toward the production and updating of this document.

Warning and Disclaimer

This document is designed to provide information regarding the subject matter presented. It is produced with the understanding that neither AWT nor the authors (or other contributors) is rendering legal, medical, engineering, or other professional services. Neither AWT nor the authors (or other contributors) shall be liable for damages, in any event, for incidental or consequential damages caused, or alleged to be caused, directly or indirectly, by the use of any information disclosed in this document, including the use of any recommendations, methods, products, services, instructions, or ideas.

Forward

The Association of Water Technologies (AWT) is an international trade association founded to serve the interests of water treatment professionals and to advance the technologies of safe, sound and responsible water treatment practice. AWT is a non-profit organization providing education and training, public awareness, networking, research, industry standards and resource support. Association activities serve to benefit members, as well as advance the arts and sciences of the water treatment industry. Moreover, AWT makes a commitment to the public as a responsible steward of the environment.

The corrosion of galvanized steel components commonly used in HVAC-related applications, such as cooling towers and evaporative condensers, may be referred to as white rust and the consequence of white rust can be premature failure of galvanized steel components.

The on-going occurrence of white rust corrosion of cooling-related components led the AWT Technical Committee to create a White Rust Project team and conduct a survey amongst the AWT membership to assess the magnitude of concern for white rust corrosion. A brief overview of the survey results is as follows: white rust corrosion was identified as a serious and prevalent problem. It was identified that white rust corrosion occurs predominantly with newly constructed/installed galvanized steel towers and related cooling components. The predominant chemistry parameter known to aggravate white rust is high alkalinity/high pH, and is further aggravated by low hardness (softened water) and/or elevated chloride and sulfate concentration. It is known that water treatment professionals have various methods of prevention, but that these methods are not always successful when alkalinity/pH, chlorides, sulfates and/or hardness levels are not maintained within the prescribed ranges.

Furthermore, the conclusions of the survey offered the following: 1) white rust is a prevalent problem and 2) the AWT organization should prepare a topic update and guidelines to increase awareness and promote prevention of white rust corrosion of galvanized steel cooling components. The intention of this publication is to draw from and summarize published references and anecdotal experiences into one central document that will effectively present the topic of white rust corrosion and its prevention. The intended audiences for this document are water treatment professionals, cooling tower owners/operators, and architect/design and mechanical contracting firms involved in the specification and/or installation of cooling-related components. Prevention of white rust corrosion can be accomplished if all parties involved in specifying, manufacturing, operating and maintaining galvanized steel cooling components work together. Reference sources are provided for more detailed information on the causes, cures and prevention of white rust corrosion of galvanized steel cooling towers and related galvanized steel cooling equipment.

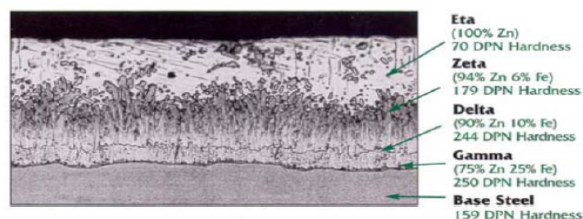
Section One - Introduction and Background

Since the 1950's, galvanized steel has remained the principal material of construction for factory assembled cooling towers and related components. This fact attests to the cost-effectiveness of galvanized steel, and when properly maintained this material can provide 20 years or more life expectancy in cooling applications. However, as noted in the Forward of this document, white rust corrosion continues to be a prevalent problem that has led to many towers requiring premature replacement. White rust corrosion can reduce life expectancy significantly, in some cases failure has occurred within a year or two of startup. This has led to a growing trend of using alternative materials of construction for factory assembled cooling towers such as fiberglass, plastic and stainless steel or hybrids of these two materials along with galvanized steel. None the less, galvanized steel cooling components still remain the most common choice especially when the decision is solely based on up-front cost for cooling component material. One objective for this document is to offer the reader some guidance in determining what materials of construction might be best based on the water chemistry, design, environmental and operational conditions existing or expected.

Many documents dedicated to the discussion of white rust corrosion have been published over the last 10-15 years. Some publications^{8,11} have reported that changes to the galvanizing and finishing process has increased the potential for white rust, while other publications^{2,5,7,12} refute this conclusion altogether and report that changes to the water treatment and related cooling water chemistry has increased the potential for white rust. Still other documents note that changes to both the galvanizing process and the water chemistry have increased the potential for white rust corrosion. There will be discussion of both these variables later, but briefly; there have been notable changes to the galvanizing process and the water treatment chemistry that have been driven in large part by environmental restrictions and regulations as well as cost-reduction initiatives. Also, the intent of this document is to identify these manufacturing and treatment changes and provide guidance for those who will consider purchasing and operating a new galvanized steel cooling component or have purchased and need to operate an existing galvanized cooling component.

White Rust

Galvanizing produces a coating of zinc-iron intermetallic alloy layers on steel with a relatively pure outer layer of zinc.



The zinc is anodic to steel and thus will provide cathodic or sacrificial protection to any small areas of steel that may be exposed (i.e., scratches, cut edges, etc.). Additionally, the zinc coating will oxidize and provide a physical barrier in protecting the bulk of the steel surface from any direct contact with the environment. Since the wear of galvanized steel in service is inevitable, it is fair to say that with all things being equal, a thicker (as measured by weight of zinc applied per surface area) and more durable zinc coating inherently will provide protection for a longer period of time.

White Rust may sometimes be interchanged with the term *Wet Storage Staining* since they have a similar corrosion mechanism. Wet storage staining is typically a pre-construction problem where new galvanized steel sheet or parts are exposed to a wet or moist environment because of improper storage. Post-construction white rust is a problem where the fresh galvanized surface is not able to form a protective, non-porous basic zinc oxide and typically the surface is partially wetted or completely submerged in water. In both cases, the deterioration begins when a localized corrosion cell is formed. The activity of such a corrosion cell/pit, results in rapid penetration through the zinc coating to the steel.



Under these corrosive conditions, the surrounding zinc coating may be unable to protect the base steel and consequently the corrosion will continue to penetrate through the base steel.



White rust corrosion is often identified by the white, gelatinous or waxy deposit that can be observed. This deposit is a zinc-rich oxide, reportedly $3\text{Zn}(\text{OH})_2 \bullet \text{ZnCO}_3 \bullet \text{H}_2\text{O}$ and can be quite similar chemically to the protective zinc oxide typically identified as a dull-gray passive oxide. One critical difference between the two oxides is that the white rust oxide is porous and generally non-protective of the substrate, while the passive oxide is dense and non-porous effectively protecting the substrate from exposure to the environment. Corrosion control of galvanized steel, as with any metal, depends on forming and maintaining a stable and passive oxide layer.

If the oxide is disrupted, repair is crucial. If the oxide layer is constantly disrupted or removed, general corrosion potential will increase or in the case of galvanized steel, depletion of the zinc coating will eventually occur. And if pitting corrosion occurs and is not mitigated, the life expectancy of the component will be greatly reduced.

It is not the intention with this document to detail the specific reactions and chemistry of white rust. It is important to know that the specific mechanisms and causes of white rust can vary from system to system since there are a number of variables (with various combinations and permutations) that lead to white rust corrosion. One variable is the galvanizing process; several changes have been noted that have likely reduced the window of tolerance of the galvanized steel to white rust corrosion. Another variable is water treatment chemistry, which has changed significantly since the early 1980's.

The incidence of white rust corrosion can be heavily impacted by water chemistry, especially during the initial start-up operational period.

Having awareness as to how the galvanizing process and water chemistry can impact white rust potential is useful in obtaining a resolution or ideally an avoidance of the white rust corrosion.

Galvanizing Processes

Hot dip galvanizing is applied to a weight per square foot requirement, which can range from light to heavy. The amount of galvanizing applied may also be expressed in terms of thickness, which will correlate with weight, i.e., light/thin to heavy/thick. The hot dip coating actually alloys with the steel and forms an integral zinc-steel alloy bond between the base steel and outer pure zinc layer. The zinc oxide weight applied, the thickness applied to the working surface and interalloying are critical factors affecting galvanized steel performance. Components manufactured for cooling tower application may be manufactured using a post-fabricated hot dip process or a pre-fabricated hot dip process. Another consideration for the galvanized coating relative to performance is formability. Pre-fabricated hot-dip galvanizing must allow for cold working to be done without damage or fracturing of the coating. Some galvanized steel is not suitability for cooling water/HVAC applications. The tower manufacturer needs to ensure that the galvanized steel product purchased is suitable for these applications.

Up until the 1960's, the predominant method of galvanizing for manufacture of galvanized steel cooling towers and other cooling components was a post-fabrication hot dip process. This method of hot-dip galvanizing (HDG) is still used extensively for coating large structural parts (i.e., pre-fabricated cooling tower structural parts, evaporative condenser bundles, etc.) and for small miscellaneous parts. This zinc coating is rough and heavy (1.5 oz./ft²) with an average thickness of 3 – 6 mils applied to the exposed surface (*per side*). The galvanizing process often will include a water-based quenching step where post-passivation is done, typically using chromate. The chromate passivation provides pre-operational protection of the galvanized coating. The governing specification for post-fabrication hot dip galvanizing is ASTM A123.

Three cooling tower OEMs and one trade publication⁶ report that the more common galvanized steel product used today for cooling tower manufacture is the heavy mill galvanizing (HMG) process.

This is also a hot-dip process, but instead of post-fabrication & batch galvanizing, the raw, pre-fabricated rolled steel sheet is put through a continuous galvanizing process. The galvanized sheet roll still needs to be cold-worked by the tower OEM for fabrication of cooling towers; hence, this can be termed a pre-fabrication process. The governing specification for pre-fabricated hot-dip galvanizing is ASTM A653 (also, cooling tower components should meet a G210 HMG classification). The HMG process will produce a more uniform, thinner coating of zinc and zinc-steel interalloy (relative to the post-manufacture galvanizing process) with at least 3.0 mils thickness (2.1 oz./ft²) *total* or 1.5 mils (1.05 oz./ft²) *on each side*. Aluminum may be added primarily to enhance the corrosion resistance of this thinner coating. Quenching may be either an air-cooled or water-spray process. Chromate post-passivation may be done or some other form of pre-operational protection may be used.

Electrogalvanizing is a third galvanizing process where zinc is deposited on steel in a relatively thin layer by a process of electroplating. There is no interalloy layering with this process and the weight of zinc applied is thin compared to hot-dip galvanizing. Consequently, electrogalvanized steel product would have a fairly short life expectancy if used for the manufacture of wetted cooling tower parts.

Experience indicates that both HDG and HMG galvanized steel can provide reliable, long-term operating service in a cooling tower environment. However, as reported in at least two publications^{8,11}, there are notable differences between the HDG and HMG methods of galvanizing (and resulting product) that can directly impact the initial tolerance to white rust corrosion and generally impact the life expectancy of galvanized steel cooling components. It should not be assumed that all galvanized steel product has equal tolerance to white rust corrosion. For example, due to more stringent environmental regulation, some galvanized steel producers no longer use chromate passivation while others have reduced the concentration of chromate in their passivation step.

Chromate is an excellent passivator of galvanized steel and the reduction or elimination, in some cases, of chromate is expected to increase the vulnerability of the galvanized steel to white rust.

Water Chemistry & Treatment

A typical water treatment program is designed to control scale, corrosion and microbiological related problems that may occur throughout the cooling cycle. The old standard of using chromate-based treatments and acid pH control along with a biocide provided excellent results. This treatment and pH chemistry regime were favorable to protecting and maintaining galvanized steel surfaces, but is long gone due to regulatory ban of chromates in the 1980's.

Today's cooling water treatment programs have been greatly influenced by several factors including environmental restrictions, energy and water conservation efforts, and the on-going focus on increasing facility safety. Some specific factors include:

- As noted, the USEPA ban of chromates in cooling systems - effectively implemented by the middle 1980's,
- A more recent and growing trend toward reducing the concentration of phosphate-based inhibitors,
- The use of acids has grown less popular due to safety and handling concerns,
- Efforts to conserve water and/or reduce operating costs have pushed many operations to increased cycling of the water chemistry,
- In many cases, the facility will modify the water source to achieve higher cycles or use poorer quality water sources, which are lower cost and/or more plentiful.

Consequently, water treatment professionals have adopted and supported these trends by modifying the water treatment program. Today, many treatments are using less anodic corrosion inhibitors and have compensated with a higher pH control range in order to provide effective corrosion control and avoid acid feed. Water softening has become a more common option to help maximize water conservation. Unfortunately, these trends have mostly been contrary to the needs of protecting and maintaining galvanized steel surfaces.

The following section will highlight the needs for the chemical treatment program and provide water chemistry guidelines that can help ensure reasonable life expectancy for all cooling system components, including galvanized steel components. The following section should also help a prospective buyer (of a cooling tower) to determine if galvanized steel is an appropriate material of construction choice.

Section Two - Prevention of White Rust

The discussion of white rust corrosion prevention is presented to address the responsibilities of the equipment OEM and that of the water treater separately. It is critical that the personnel specifying, purchasing and ultimately operating the cooling system be educated on what the requirements are for the prevention of white rust.

If these requirements cannot be achieved, an alternate cooling component material of construction should be considered (see Section Five).

Equipment Manufacturers' Perspective

Cooling equipment OEMs have the responsibility to manufacture a product that meets customer and industry specifications. To help ensure the product achieves life expectancy, cooling equipment manufacturers have developed chemistry and water treatment recommendations for cooling towers and related equipment. The seller, buyer and owner/operator needs to ensure that the intended or existing conditions will be able to achieve the manufacturer's recommendations. The information to follow is extracted from several cooling equipment manufacturer references. The specific manufacturers whose documents were reviewed are identified in the Table 1. Moreover, these recommended operating ranges are summarized in Figure 1 – Galvanized Towers Operating Ranges. This visually differentiates between initial and routine service.

Pre-Installation Handling Guidelines:

- √ Abide by the American Galvanizers Association recommendation to store galvanized metals under dry conditions until it is placed in service to prevent "wet storage staining".
- √ Tower manufacturer publications may or may not note if the galvanized steel is pre-passivated with chromate. The manufacturer's product should be pre-passivated with chromate or some suitable alternative should be utilized.
- √ Several cooling tower OEMs note a need to consider alternative materials of construction (MOC) if system conditions are expected or known to be harsh relative to galvanized steel. The choice of cooling tower construction materials should consider corrosion resistance, structural integrity and durability, desired equipment life, and not just upfront cost. Stainless steel, plastic, fiberglass and epoxy coated galvanized are becoming common alternatives to galvanized steel, but at a higher upfront cost, to gain improved equipment life.

Post-Installation Handling Guidelines:

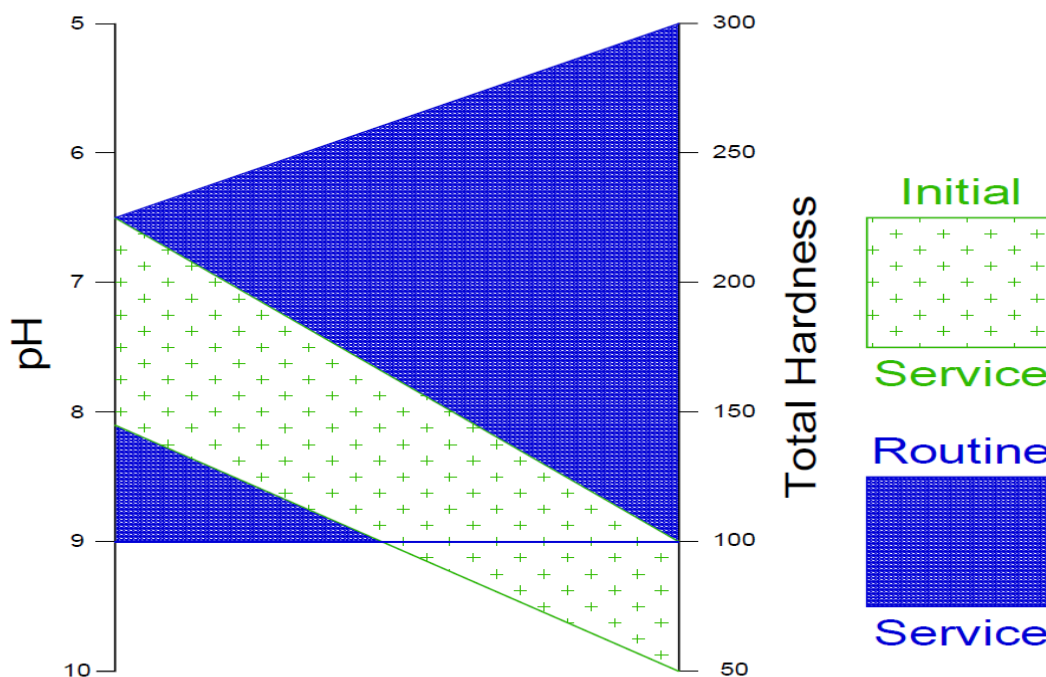
- √ All OEM publications reviewed indicate that the potential for white rust corrosion is greatest when the tower is newly constructed, having a freshly exposed galvanized surface. All OEM companies referenced below recommend the tower be pre-passivated prior to putting any heat load on the tower.
- √ All OEM publications reviewed indicate that proper water chemistry and chemical treatment during initial tower start-up is essential to the initial formation of a passive zinc oxide. In particular, alkalinity/pH control and the presence of calcium hardness are emphasized.
- √ All OEM publications reviewed emphasize the need to have a water treatment professional, knowledgeable of the topic of white rust prevention, involved in the start-up and operating process.

TABLE 1
COOLING TOWER MANUFACTURERS - RECOMMENDED WATER CHEMISTRIES

Parameter	BAC ²	Evapco ⁷	Marley ¹²
OEM Reference:	BAC Operating Manual	Evapco Eng. Bulletin 036A	Manual 92-114B
Passivation Duration:	4 to 8 weeks	4 to 12 weeks	Minimum of 8 weeks.
pH during Passivation:	>7.0 to <8.2	>7.0 – <8.0	>6.5 – <8.0
pH for Routine Service:	6.5 to 9.0 suggested	>6.0 to <9.0	No specific guide found
Hardness (as CaCO ₃):	>30 ppm	>50 ppm	100 – 300 ppm
Alkalinity (as CaCO ₃):	<500 ppm	<300 ppm	100 – 300 ppm
Chlorides (as Cl ⁻):	<250 ppm	<250 ppm	No specific guide found
Sulfates (as SO ₄):	<250 ppm	<250 ppm	No specific guide found
Conductivity:	<2,400 µS	<2,400 µS	No specific guide found
Chlorine (as Free CL ₂):	<1.0 ppm as a routine	<0.5 ppm as a routine	No specific guide found
General Comments:	BAC offers removal & treatment recommendations for white rust.	Critical to have a passivation plan and assigned responsibilities prior start-up.	Chromate rinse used for HMG steel sheet.

NOTE: Cooling OEMs suggest that the system be initially treated with the maximum allowable level of a non-oxidizing biocide and/or sodium hypochlorite (oxidizing biocide) to a level of 4 to 5 mg/l free chlorine at a pH of 7.0 to 7.6. This recommendation is in place as a sound practice for bacteria control in cooling towers (see AWT Position paper on Legionella Guidelines for further discussion of this important issue). Exposure of galvanized steel to elevated chlorine level will increase corrosion potential of new, unpassivated galvanized steel and may damage passivated galvanized steel.

Figure 1 - Galvanized Towers Operating Ranges



Water Treatment Companies' Perspective

Since the water treatment professional is often in the position of being a unit operations consultant, it is important they be aware and communicate the established industry knowledge for maintaining galvanized steel tower surfaces. Also, the water treatment professional can help by communicating (to the specifying company and/or the owner/operator) the likely consequences when these water chemistry and operating requirements are not maintained.

Too often the decisions dealing with design, installation and start-up of a new cooling tower and related equipment are made without any or insufficient review and input from a qualified water treatment professional. Consequently, the requirements for a trouble-free, long operating life of the galvanized steel tower are compromised. In today's competitive environment it is increasingly critical that the owner/operator protect and optimize their investment. Involving a knowledgeable water treatment professional early on in the review process will help minimize problems and will help optimize the owner/operator's investment.

This section will discuss the critical considerations a water treatment consultant should consider and communicate during the *tower-preconditioning phase*, during the *routine operating phase* and during any *idle operation/lay-up phase*.

There are some basic established requirements that ideally should be assessed *before* deciding on the purchase/use of a galvanized steel tower. These include: 1) raw water chemistry parameters such as alkalinity, calcium hardness, chlorides and sulfates, 2) will the makeup be softened, 3) can the galvanized component be isolated from the system and 4) can the galvanized surface be properly passivated prior to heat load being applied. *Generally speaking, if the existing system conditions make it difficult to effectively accommodate the needs for maintaining galvanized steel, then one should reconsider the purchase and installation of a galvanized steel tower. Refer to Section Five in this document, which will address alternative material of construction selection.*

Tower Preconditioning Phase Check List:

- √ Clean and passivate any newly installed cooling system or component prior to or upon initial exposure to circulating water. Galvanized steel surfaces have the same requirement to be cleaned and passivated as other metals, such as steel, but offer some special limitations. During the initial startup phase is when white rust is most likely to occur and consequently impact on the life expectancy of the galvanized steel tower or cooling related component. The startup phase may last several days to accommodate the "system", but passivation of the "galvanized component(s)" may require several weeks to several months to achieve desired results.
- √ Control pH/alkalinity during the initial exposure of the galvanized surface to recirculating water: between pH 7.0 to 8.0 being ideal. Cleaners should be buffered to maintain pH between 6.5 and 8.0. The water treater should be capable of selecting an appropriate cleaner, but typically a phosphate-based and/or silicate-based cleaner is used. Specifically, inorganic phosphates are typically used for passivation. An acidic phosphate (such as phosphoric acid) can aid the conditioning process and help buffer the pH. Note each mg/L of phosphoric acid, as PO_4 , will neutralize roughly 0.5 to 0.7 mg/L of bicarbonate alkalinity. Phosphate addition can range from 10's of mg/L to 100's of mg/L concentration. However, one should consider calcium phosphate deposition potential before applying the high phosphate residuals.
- √ Use an effective copper corrosion inhibitor that will minimize the copper level in the recirculating water and complex any soluble copper to minimize potential for re-deposition. High copper levels in the circulating water can re-deposit on metal surfaces, particularly galvanized metal.
- √ Isolate the fresh galvanized surface from any harsh solutions/cleaners. There may be pre-existing parts of the system that require strong acidic or alkaline conditions. Ideally, the system design allows for the galvanized equipment to be isolated and by-passed.

- ✓ A minimum calcium of 30 to 100+ mg/L (as CaCO_3) is desired to achieve proper passivation when using phosphate-based or phosphate/molybdate-based treatments. Temporary addition of calcium may be required (i.e., bypassing a makeup water softener or by addition of a calcium source).
- ✓ Halogen products should not be routinely fed to exceed 1.0 mg/L free halogen (as Cl_2). However, it is understood that proper sanitization may require up to 10 mg/L free halogen as Cl_2 for a period of 24 hours. Passivation after sanitization may be required.
- ✓ Avoid starting-up a new unpassivated galvanized steel component with full heat load. Heat load on the system during precleaning and passivation should be minimized or ideally avoided to prevent concentration of salts and minimize corrosion potential.
- ✓ Monitor the galvanized surface prior to and during preconditioning. Monitoring should include as a minimum, visual inspection and documentation. Monitoring may also include trending zinc in the makeup and recirculating water to assess zinc oxide pick-up. Corrosion coupons or a corrosion rate probe have been used with some success. Monitoring will be covered in Section Five of this document.

Routine Operating Phase Check List:

Once the tower and system is precleaned and passivated, the water chemistry and operating conditions can be modified to accommodate process needs. However, there will still be limitations that should be considered for galvanized steel components.

- ✓ The tower pH may exceed 8.0; however, it is recommended the pH be increased slowly (not all at once) to the intended target. A pH of 9.0 is a desired maximum; although some tower treatments can allow a pH greater than 9.0 (consult with the water treatment representative servicing the facility). If excessive pH is identified as a concern, the owner/operator should plan to operate at lower cycles or control pH/alkalinity with acid feed or by dealkalizing the source makeup water.

Note operating at lower cycles is costly and may be precluded due to blowdown limitations. Requirements for proper handling, feed, and control

of acid are critical and must be considered to ensure operator and system safety.

- ✓ Control tower chemistry, considering treatment capability, to minimize corrosion potential of steel, copper (if present) and galvanized steel. Care must be taken with the water treatment not to harm the galvanized steel.
- ✓ Overfeed of phosphonates, polymers and other chelating chemistries should be avoided. If the galvanized oxide is harmed, reconditioning of the galvanized steel surface (as identified in the preconditioning phase) may be required. Remove white rust by reducing the pH below 8.0, preferably to neutral pH, and implementing an effective treatment clean-up program (physical and chemical) targeted for galvanized steel.
- ✓ Add maintenance chemicals ensuring they are well mixed and diluted prior to contact with the galvanized surface. As a rule, avoid adding chemical treatment directly to the tray/sump if constructed of galvanized steel. In the case where system upsets may require harsh chemicals to be used, the galvanized component should be isolated from the water circulation or an appropriate galvanized steel inhibitor used.
- ✓ On-going visual monitoring of the tower's galvanized steel surface should be a service visit routine. Other forms of monitoring may be useful and will be covered later in this document.

Idle Operating/Lay-up Phase Check List:

An "operating" system in many ways is much easier to treat and protect than an "idle" cooling system and/or tower. However, for various reasons cooling systems and/or cooling tower(s) will need to be shutdown.

- ✓ Lay-up solutions should be buffered to maintain pH between 7.0 and 9.0. Excessive pH/alkalinity can destroy the protective zinc oxide and result in white rust corrosion. Note, it is most common that the "cooling tower" component will be drained during lay-up.
- ✓ Cleaning and passivation may be required to accommodate special issues such as system sanitization. For example, sanitization may require high levels of halogen (i.e., > 10 mg/L halogen, as Cl_2) after an extended shutdown.

Repassivation may be required after the sanitization.

- ✓ If at all possible, water circulation through the system should not be shutdown. Ideally, by-pass the tower completely or least by-pass the tower fill.

Section Three: White Rust Treatment Basics

Evolving Technologies

Most water treatment professionals have access to conventional inhibitor technologies capable of maintaining low steel and copper corrosion rates. These conventional technologies are often adequate where galvanized steel is used if the galvanized steel surface has been properly seasoned.

Some newer technologies are being used and have been promoted as having enhanced capability to protect galvanized surface^{3,15}. It should be the goal of the general water treatment community to gain a better understanding of these technologies and to continue to develop promising technologies for galvanized steel. This section will review the basis for some of these technologies.

Common Treatment Approaches

The management of white rust in process water can provoke a wide range of treatment approaches. While no one approach is considered standard, three primary treatment themes emerge when field practices are examined: Passivation, Water Chemistry Control and the use of Reactive Inhibitors. *Passivation and Water Chemistry Control* have already been addressed in Section 2. The two approaches remain the most commonly used concepts in mitigating or at least controlling white rust. Reactive inhibitors represent the use of treatment concepts that reportedly mitigate or control white rust and broaden the operating chemistry window tolerable to avoid white rust.

Reactive Inhibitors

Reactive inhibitors refer to those chemical components that are specifically added in order to limit the reactions involved in the formation of white rust. As opposed to protective film formation or water chemistry control, reactive inhibitors are designed to either slow anodic or cathodic reactions or complex with zinc ions as they are liberated from the metal surface to prevent subsequent reaction with free carbonate and hydroxide ions.

Following there are two primary chemical approaches that will be reviewed reportedly capable of controlling white rust with reactive inhibitors.

The first approach is analogous to that of controlling mild steel corrosion where blends of common inhibitors such as molybdate, phosphate, phosphonates, polyphosphates, zinc and/or other compounds believed to work are added to the system using proprietary formulae. There are various reports, industry papers, patents, etc that show data claiming efficacy for such treatments. While it is not the position of AWT to endorse any specific treatment, the approach of limiting anodic and/or cathodic reactions involved in the destruction of the galvanized surface is a valid approach. However, there does not appear to be a consensus or even a leading series of guidelines within the water treatment community to support a particular combination of inhibitors or formula.

The second approach is the use of strong ligands to react with solubilized zinc to form a complex that has limited or no reactivity with hydroxide or carbonate ions. One class of chemicals with reported success is dithiocarbamates.

Dithiocarbamates are sulfur compounds prepared from the reaction of amines with carbon disulfide. The resultant dithiocarbamate compound can form highly water insoluble complexes with most transition metals. Because of this property, dithiocarbamates are well suited to complex with zinc ions at the water/surface interface and limit the ability of the metal ion to subsequently complex with either hydroxyl or carbonate ions that are necessary to form white rust. The specific composition of dithiocarbamates can vary widely depending upon the starting amine and, as such, a range of dithiocarbamates have reported efficacy in the literature. The addition of other compounds such as phosphonates and molybdate are reported to show significant improvements over the use of dithiocarbamates alone.

Section Four - Removal & Repair of White Rust

Removal of White Rust

Whether or not to remove the White Rust?

As noted, white rust corrosion is characterized as a localized/pitting type corrosion and identified by characteristic white, waxy tubercule-type deposits.

However, not all white deposits found on galvanized steel surface are due to white rust and not all deposits, including zinc-rich deposits, will result in localized/pitting corrosion.

Consequently, it is incumbent of the owner/operator, with guidance from the water treatment professional, to determine if the deposits are better left alone or if removal is required.

Evaluation can include any or all of the following:

- Deposit analysis – determine the inorganic content. It may be the deposits are calcium-based and not zinc oxide.
- Physical inspection of the surface under the deposits – investigate to determine if there is pitting corrosion resulting beneath the deposit. Consider leaving the deposit alone if pitting is not observed.
- Age of the equipment and of the deposits – the deposits may be doing more good than harm. A tower that is far along in life expectancy with white rust that has been present for years is probably better off left alone.

Mechanical Cleaning Methods:

Virtually all information recommends the removal of the white rust by brushing with a stiff (non-metallic) bristle brush and then coating the damaged areas. If the white rust build-up is light or spotty, it should be easily brushed off to allow for the formation of the protective zinc oxide. This process can be enhanced by the addition of inorganic phosphate or by the reduction of the pH/alkalinity during the repassivation step.

Chemical Cleaning Methods:

In mild cases the area should be brushed (using a stiff non-metallic bristle brush) with a mild cleaning solution. Severe cases may require multiple applications of a more concentrated cleaning solution along with brushing. Phosphoric acid is an excellent choice, although other acids such as acetic, glycolic or citric acid have been used with success.

Care should be taken when using these other acids since they can chelate the base zinc coating. Overzealous application of such chelating agents may strip the zinc coating from the steel surface. Follow the cleaning process with a thorough water rinse.

Repairing Damaged Galvanized Surfaces

Re-galvanizing with Zinc-Rich Paints:

- **ZRC Worldwide**
ZRC Cold Galvanizing Compound
- **Sherwin Williams**
Zinc Clad XI
- **Benjamin Moore & Co.**
Epoxy Zinc Rich Primer CM18/19

Non-galvanic finishes

- **Belzona, Inc.**
Belzona 1111 Supermetal
Belzona 5811 Immersion Grade
- **Benjamin Moore & Co.**
Coal Tar Epoxy M47/48
Low Cure Epoxy Mastic Coating M45L/46
- **PPG Industries**
COAL CAT® Amine-Cured Coal Tar Epoxy
COAL CAT® Resinous Cured Coal Tar Epoxy

Please Note: The above list of manufacturers is not meant to represent a complete list of coating suppliers nor is meant to be an endorsement of these products.

Application Guidelines:

To achieve reasonable performance from the post-installation finishes, it is critical to properly prepare the surface. This will require removing debris and deposits, cleaning the base surface (typically with a phosphate-based cleaner) and repairing any areas where failure has occurred.

The surface should be dry before applying the finish. There are products that may be applied to a wet surface; however, results are usually temporary. Best results will typically be achieved by having a professional, experienced in this trade of metal surface finishes, perform the task.

Application instructions will vary somewhat among manufacturers - the basic steps are:

1. Remove sealing compound from corners.
2. Sandblast surface to near-white profile. Grinding the surface and wire brushing the rusted areas may be acceptable, but not as effective as sandblasting.

3. Completely remove debris, clean and dry surface - use fans to promote faster drying.
4. Apply coating according to manufacturer's instruction; typically two coats are required to attain a minimum desired dry film thickness.
5. Allow fully coated surface to dry/cure for specified time period (it can be as short as 1 to 3 days and as long as 14 days with zinc-rich paints). In some cases, application and curing times may be accelerated – check with coating manufacturer.

Notes:

- 1) Zinc rich compounds require extended cure times (up to 14 days) in order to provide the best possible performance.
- 2) The most important factors for the success of paint systems are adhesion and continuity – and in the case of zinc-rich paints, electrical conductivity.

Continuity of the paint systems is extremely important for carbon steel, since pinholes and other imperfections quickly become rust pits. Zinc-rich paints must be electrically conductive in order to provide cathodic protection.

- 3) Surfaces to be reconditioned, which will be subject to immersion should be prepared in accordance with Near White Metal Blast SSPC-SP10.

Refer to ASTM Section A 780 for details on these and other approved repair methods for galvanized steel surfaces.

Leak repair

Quick fix (for sump/pan area): insert a stainless steel bolt through the hole with a rubber gasket on each side of the affected area. The use of tar or an epoxy can help seal this type of repair. For larger areas use a piece of plastic sheet, fasten with rivets and use tar or epoxy to achieve a seal.

Long term repair (for sump/pan area): some cooling tower OEMs will provide a retrofit fiberglass basin. The cost of the sump insert is not a significant expense, but the cost of installation can be expensive since the tower may require partial dismantling.

Section Five - Monitoring for White Rust

Historically physical inspection, mass balance and galvanized steel coupons have been used to ascertain if white rust corrosion of galvanized steel was an ongoing problem in cooling towers. This section will provide some thoughts and guidance to the value and methodology nuances of each.

The simplest method of monitoring is visual observation of the galvanized surface. Physical inspection of cooling towers for white rust has proven to be fairly reliable in that white rust forms an easily identified soft white, waxy deposit on galvanized surfaces which when removed shows a definite area of attack on the metal surface. However, visual inspection is not preventative or proactive and it may not allow for the detection of zinc coating loss, unless gross loss occurs.

Standard mass balance analysis of cooling waters to determine if a white rust problem is occurring is generally not usable as the corroded zinc will deposit as corrosion product (i.e., white rust) and thus is not measured in the cooling water. The exception to this is where sufficiently aggressive treatments are used such that zinc is dissolved into cooling water. This may occur during the initial start-up phase, routine operational phase or during post-operational cleaning events. In these cases, measuring zinc in the makeup and recirculating water (and factoring tower cycles) to determine zinc pick-up can help monitor zinc oxide stability. For example, based on zinc measurement (i.e. $\text{zinc}_{\text{blowdown}}/\text{zinc}_{\text{makeup}}$), one can determine if zinc pick-up is occurring at the expense of the galvanized steel surface. It is expected that zinc oxide pick-up may be high to start, but it should level off with time and eventually approach theoretical tower cycles. Note, this monitoring method will not be effective if zinc is fed as part of the treatment program.

Corrosion coupons and to a lesser extent corrosion probes outfitted with zinc coated tips have long been used to monitor for white rust corrosion. Two material options to consider when using corrosion coupons are hot dip galvanized steel or pure zinc corrosion coupons.

Table 2 – Example Coupon Data

Makeup Water Quality, mg/L	Min. & Max Range, mpy loss		Average, mpy loss
	Min.	Max.	
TH <5, TA 91	5.49	32.55	11.62
<i>Galvanized Coupon</i>	1.35	8.03	
TH 75, TA15	2.00	5.83	3.09
<i>Galvanized Coupon</i>	0.49	1.44	
TH 44, TA 52	1.53	3.98	2.65
<i>Galvanized Coupon</i>	0.38	0.98	
TH 241, TA 235	1.9	5.7	3.23
<i>Galvanized Coupon</i>	0.47	1.41	
Data is strictly provided as example.			

The field data shown is provided as an example to highlight the difference in data obtained from pure zinc coupons versus the HDG coupons. It suggests that because there is less zinc to be removed from the HDG coupon as compared to a pure zinc corrosion coupon that under the same conditions the reported metal loss will be lower (perhaps understating the actual corrosion result).

There also needs to be some rationale given as to when this monitoring approach is best suited. For example, the use of corrosion coupons is ideal when monitoring galvanized surface during system start-up and pre & post operational cleaning events. Furthermore, this monitoring method will work well when using "reactive" white rust inhibitors as part of a maintenance treatment regiment. However, there are some practical issues that need to be considered when using zinc-based coupons to monitor a maintenance treatment that does not employ a "reactive" white rust inhibitor regiment. For example, if the coupon is not pre-passivated, then the water chemistry of the circulating cooling water will have a predominant effect on the coupon regardless of what affect the same water source may have on the actual zinc surfaced equipment. This is because an already "passivated" galvanized metal surface is more tolerant of a broader chemistry window. An un-passivated zinc-based corrosion coupon exposed to water chemistry under heat load, operating conditions will demonstrate white rust, but will not necessarily reflect accurately what is happening to the equipment that has been passivated.

As with all corrosion coupon data, this coupon data needs to be evaluated in the context of other

data sources and over time as a trend for each individual operating cooling system.

In the absence of any formally presented data, it is still unclear how to fully interpret the result of zinc-based corrosion coupon data. There is an AWT reference¹⁷ that offers a good overview of best practices for corrosion coupon monitoring. This same project committee is currently looking to establish a specific performance rating system relating to galvanized coupon corrosion rates. Once complete, that specific data will be provided.

Section Six - Alternative Materials

This section will endeavor to provide some guidance on whether the (cooling) system conditions represent a high risk for shortened life expectancy (see figure 2) and will offer suggestions on alternative materials (see Table 4). Included is a summary of the basic features and benefits of alternative materials and some review of their limitations. The most popular alternative MOC choice to galvanized steel cooling towers and evaporative condensers is a hybrid of stainless steel/galvanized steel or all stainless steel (excluding fill, distribution nozzles and louvers). Fiberglass and plastic are gaining somewhat in popularity, but are still a high cost option, especially when structural integrity is fortified.

Selection of Galvanized Steel Material

The decision tree shown on the following page will offer guidance as to whether galvanized steel should be selected. This decision tree is simply a guide and should not be used to draw absolute conclusions as to whether galvanized steel MOC is the right choice or the wrong choice for a particular application.

Table 4 that follows offers a basic overview of the alternative materials one may want to consider if the risk assessment guide suggests that galvanized steel is not appropriate for existing or expected application conditions. Each of the alternative materials may have advantage(s) over galvanized steel; however, the reader is encouraged to pay close attention to the limitations noted for these alternative materials as well.

When in doubt, it is best to consult with one or more tower OEMs and water treatment consultants.

FIGURE 2
Decision Tree - Okay To Use Galvanized?

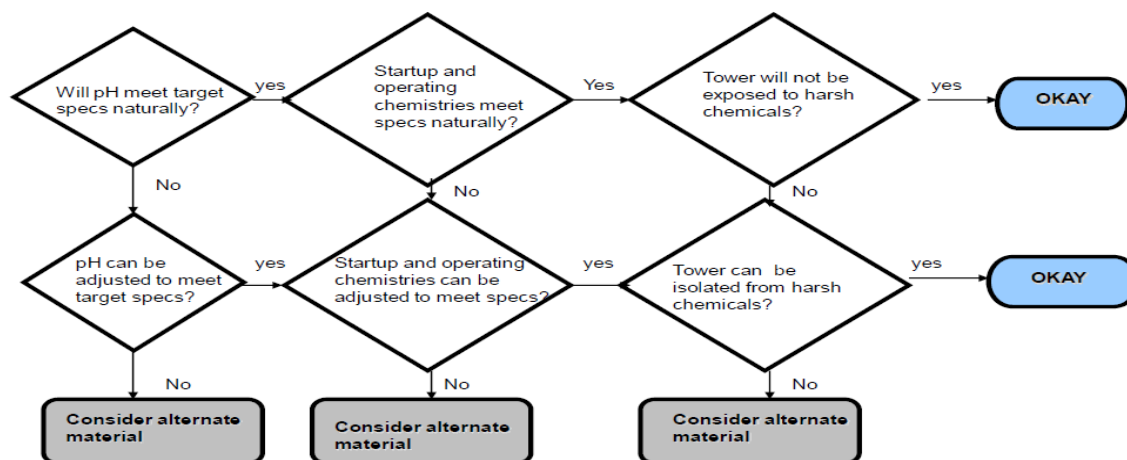


Table Summary:

As one might expect, tower materials with longer life expectancy will tend to have a higher relative cost. Galvanized and epoxy coated galvanized steel towers have the lowest life expectancy, but offer a relatively low-cost option.

If conditions are abusive, the life expectancy of any of the materials shown above may be shortened. However, it is fair to say that the more expensive materials are more forgiving. It holds true that galvanized steel has a narrower window of tolerance.

Epoxy coated galvanized steel is offered by one OEM. The OEM claims that the epoxy coating in combination with the base galvanized steel effectively protects the base steel substrate. If the epoxy coating is disrupted the exposed galvanized steel will become quite anodic (corrosion will be localized to this small exposed area) and white rust-type corrosion is likely to occur.

Consequently, the epoxy coated galvanized steel is considered to be only a minor upgrade at best from galvanized steel.

The seller and buyer should inquire with the manufacturer as to whether this epoxy coating can effectively expand the window of tolerance for operating and chemistry conditions considered to be non-conforming for galvanized steel.

Stainless steel is among the fastest growing alternative materials used, replacing galvanized steel. A stainless steel hybrid with galvanized steel is a common trend as well. The hybrid tower considers the structural components of significant vulnerability for galvanized steel and replaces these components with stainless steel. Stainless steel can be vulnerable to chloride pitting and to stress corrosion cracking (although chloride tolerance is typically greater than that required for galvanized steel). Stainless steel type, temperature, chloride concentration and surface cleanliness are all important factors when using this material.

Fiberglass continues to gain ground as an alternative material, but cost remains an issue and structural integrity can be a limiting factor to size of cooling application. Relatively new manufacturing technique for high-strength structural components will address the structural integrity issue, but cost continues to be an issue.

Wood and concrete materials remain commonplace in medium-sized to large cooling towers applications. However, these materials are not commonly used as an alternative to galvanized steel. Wood has been a viable alternative in the past for smaller cooling applications, but wood material is not readily available today and wood has a fire concern.

TABLE 4			
Material Type & Uses	Life Expectancy (expected Vs. theoretical)	Cost Factor (galvanized = 1.0X)	Limitations/Comments (ease of use)
<i>Ceramic</i> - Tower structure - Tower fill	20+ Vs. 30+ years	2.5 to 3.0X+	• Weight can be an issue • Fill more prone to fouling
<i>Fiberglass/Plastic</i> - Tower structure - Dist. deck & basin - Tower fill & louvers	15-20 Vs. 25+ years	2.5X for small tower >2.5X to increase structural integrity	• Prone to UV degradation • Structural integrity can be a limitation to size • Fastener material can be a weak link • Generally easy to fabricate
<i>Wood</i> - Tower structure - Tower fill & louvers - Distribution deck	20+ Vs. 30+ years	3.0X+	• Availability of wood product • Prone to MB degradation • Can be fire hazard concern
<i>Stainless Steel</i> - Tower structure - Distribution deck	15-20 Vs. 25+ years	1.8X to 2.0X	• Avoid high chlorides • Keep surface clean • Generally easy to fabricate
<i>Concrete</i> - Tower structure - Tower basin	20-25 Vs. 30+ years	3.0X+	• Weight, roof-top installations • Rebar corrosion • Generally easy to use
<i>Epoxy Coated Galvanized Steel</i> - Tower structure - Dist. deck & basin - Louvers	10-15 Vs. 20+ years	1.1X to 1.2X	• Maintain coating to protect galvanized surface • Avoid high chlorides and sulfates • Typical coating life is 2 to 10 years per AWT survey
<i>Galvanized Steel</i> - Tower structure - Dist. deck & basin - Louvers - Evap. condenser	10 Vs. 15-20 years	1.0X	• Prone to white rust • Proper startup conditions are critical • Avoid chemistry upsets. • Generally easy to fabricate

Section Seven - Reference List

1. American Galvanizers Association. (1997). Wet storage stain. T-WSS-97.
http://www.galvanizeit.org/images/uploads/publicationPDFs/Wet_Storage_Stain_On_Galvanized_Steel.pdf
2. BaltimoreAircoil Company. (1992). White rust on galvanized steel cooling towers. (Excerpted from reference 5.)
<http://www.baltimoreaircoil.com/english/resource-library/file/806>
3. Busch, B. D. & Oldsberg, M. T. (The Analyst, Summer, 2000). Advances in the inhibition of white rust corrosion.
4. CTI Manual, Chapter 9 - Materials of Construction for Cooling Towers (October 2009)
<http://www.cti.org/pub/ctimanual.shtml>
5. Johnson, Keith M. and Joseph B. Mihehc, "Update on White Rust Corrosion and Control", Technical Paper TP91-14, Cooling Tower Institute, Houston, TX (1991)
http://www.cti.org/tech_papers/corrosion.php
6. CTI. (1992). Guidelines for treatment of galvanized cooling towers to prevent white rust. PFM-142.
7. EVAPCO. (2009). White rust. Engineering Bulletin No. 036A.
http://www.evapco.com/sites/evapco.com/files/white_papers/36-White-Rust.pdf
8. Mayer, W. F., & Larsen, R. (1991). White rust report. Associated Laboratories.
9. Johnson, K. M. & Milelic, J. B. (1990). Diagnosing white rust corrosion in cooling tower systems. NACE Paper No. 361. (Classified as Historic, Available by direct phone call to NACE).
10. Kunz, R. G. & Hines, D. W. (1990). Corrosion of zinc in cooling water. NACE Paper No. 348. (See Ref 9)
11. Laronge, T. (1991). The white rust problem in cooling towers: A technical review. Thomas Laronge Report.
12. Marley Cooling Tower Company. (1992). White rust & water treatment. Manual 92-1184B.
<http://spxcooling.com/pdf/M92-1184B.pdf>
13. Materials Performance. (1995, October). Coating basics: Coating newly galvanized steel. (Classified as Historic, See Ref 9)
14. McKay, R. J. & Association of Water Technologies. (2000). Survey of AWT members on white rust. McLean, VA: The Association of Water Technologies.
15. Puckorius & Associates, Inc. (2001, Third Quarter). Cooling water systems – Passivation. WaterChem Solutions®, 5.
16. Rachels, G. K. (The Analyst, Spring, 1991). White rust – The water treater's achilles heel.



WTEF

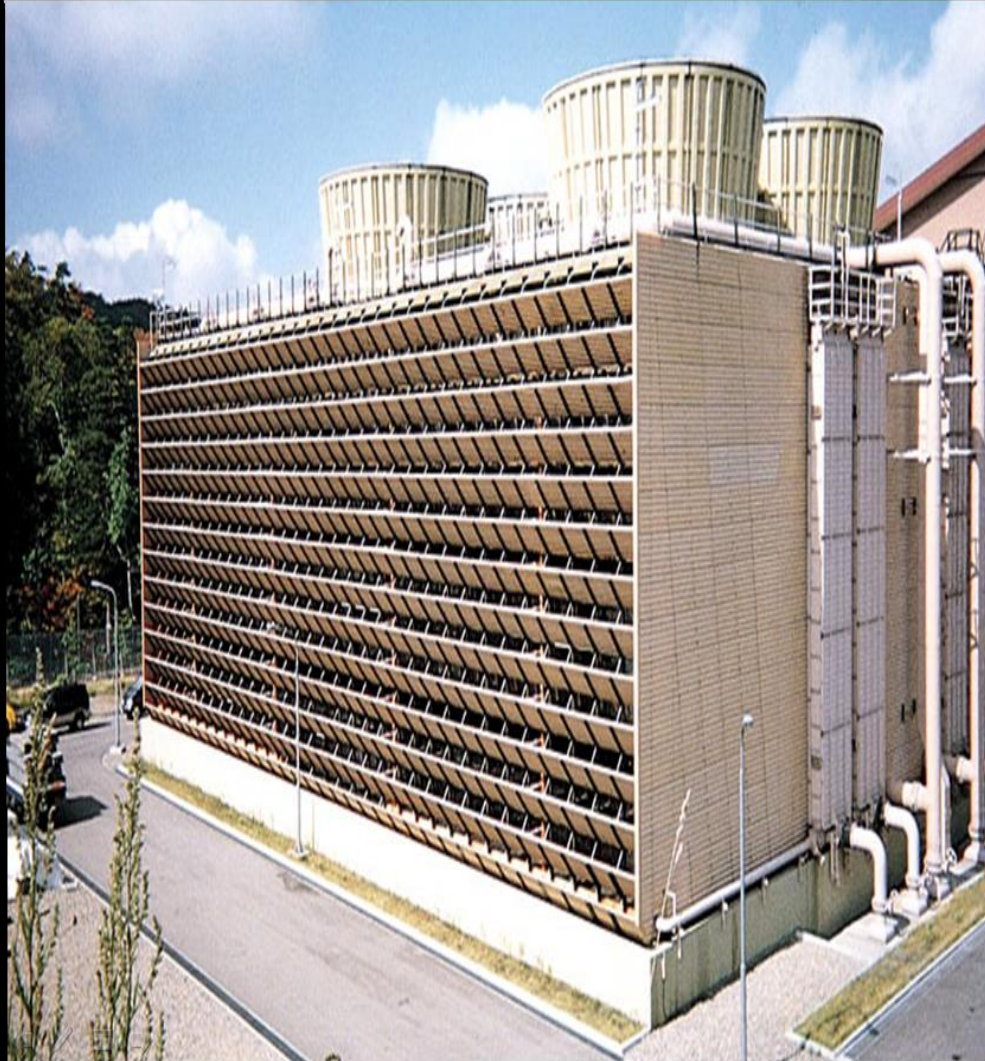
مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

34

الخشب

في

أبراج التبريد!!



النقاش الرابع و الثلاثون:-**34- الخشب في أبراج التبريد!**

ذكرنا من قبل ونحن نتحدث عن مواد البناء لبرج التبريد أن الخشب يتكون من 3 مكونات رئيسية

1- السيليلوز (Cellulose).

2- اللجنين (lignin).

3- مستخلصات طبيعية Natural extractives.

وَقُلْنَا أن الألياف الطويلة من السيليلوز تعطي الخشب القوة والمتانة ... واللجنين يعمل كمادة لاصقة لهذه الألياف وشبهناها بالأسمت الذي يلصق الطوب ... والمستخلصات الطبيعية تحتوي على مركبات طبيعية تساعد الخشب على مقاومة التسوس.

المشاكل التي يتعرض لها الخشب هو التلف Wood deterioration في برج التبريد لعدة أسباب:

1- المستخلصات الطبيعية تذوب في المياه ... فعندما تمر المياه عليها تذوب فيها ويصبح الخشب أكثر عُرضة للفساد.

2- حدوث ما يُسمى بزوال مادة اللجنين delignification وهو أن المواد المؤكسدة وأولها الكلورين مع القلوية الزائدة تسبب ذوبان لطبقة اللجنين وهي المادة التي تلصق الألياف السيليلوزية ببعضها فتتفكك وتتحرر عن بعضها ويفسد تماسك الخشب ... وتنتقل الألياف لتسد الأنابيب والمصافي الشبكية screen ... وقد تتراكم على المبادل الحراري وتوفر بيئة ممتازة لحدوث التآكل أو البايوفولنج أو الإثتان!

(1 جزء في المليون من الكلورين مع $\text{pH}=8$ على الأقل كافية لحدوث هذه الظاهرة) ... وتقليل pH عن هذه القيمة وخفض الكلورين المتبقى ل 0.5 جزء في المليون يُقلل هذه الظاهرة لأدنى حد.

يُدمر بكميات زائدة من الكلورين الحر ... ولكنه يمتاز بأن تأثيره ضعيف بالكلورايد أو الكبريتات أو كبريتيد الهيدروجين.

3- تدهور حالة السيليلوز بسبب الهجوم البيولوجي Biological attack: بعض الكائنات تهاجم سيليلوز الخشب في برج التبريد حيث أنه يحتوي على كربون مغذي ومشجع على نمو هذه الكائنات ... أنزيمات تُفرز منها لهضم السيليلوز وتمتصه وتترك الخشب بمحتوى كبير من اللجنين ... يفقد الخشب متانته ويتحول إلى اللون الأسود أو الغامق Black zone ويصيبه التعفن rot أو Decay ... هذه الكائنات إما فطريات أو بكتيريا ... وأفضل نمو لها عندما يكون الخشب يحتوي على نسبة رطوبة من 20 – 27% ودرجة حرارة من 30 إلى 40 درجة مئوية بجانب وجود الأوكسجين بالطبع ونمو الطحالب وطبقة الSlime.

قد تكون مكان الإصابة على السطح surface rot أو داخلية internal decay ... والأخير أخطر بالطبع وغير مشاهد في المراحل المبكرة.

وهناك حادثة وقعت بالفعل لبرج تبريد من خشب بمصنع بمصر انهار مرة واحدة ووقع بسبب الفطريات التي نهشت في جسده!

4- عوامل فيزيائية تؤدي إلى تلف الخشب Delignification كالتعرض لدرجة حرارة عالية على الدوام (60 درجة مئوية أو أعلى) ... كما أن ذلك يُشجع على الهجوم بواسطة كائنات التعفن ... وهناك مشكلة فيزيائية أخرى وهي تكون كريستالات الأملاح بالمبادل الحراري ... وانتقالها للخشب فتمزق الخلايا التي يتكون منها.

حماية الخشب وصيانته Preventative maintenance في أبراج التبريد:

الخشب القوي يمكث معنا 20 – 25 سنة أما الخشب الغير جيد أو الذي تعرض لعوامل تسبب هلاكه يمكث معنا أقل من عشر سنوات ... فلا بد إذاً من أخذ طرق الحماية والوقاية مع الخشب لأن الخشب إذا فسد فلا سبيل لمعالجته وتتضمن هذه الطرق:

- 1- الحد من المواد الكيميائية المضافة: فمثلاً يتم استخدام البايوسيد الغير مؤكسد لمنع نمو الطحالب والslime التي تحفز كائنات التعفن على النمو ... وعند استخدام الكلور فلا يجب أن يزيد عن ال1 جزء في المليون (يُفضل من 0.3 – 0.7 جزء في المليون).
- 2- الفحص الميكروسكوبي لعينات من الخشب للكشف عن وجود الفطريات التي تنخر في الخشب داخلياً ونحن لا نراها ويتم تحديد مسافة العمق المصابة.
- 3- استبدال الخشب المصاب فوراً قبل أن يمتد للخشب المجاور ... ويظهر الخشب المصاب بضعف سطحه وتغير لونه ... لذا الفحص بالنظر مهم جداً من وقت لآخر.
- 4- استخدام مواد كيميائية حافظة للخشب مثل:

Creosote - ammoniacal copper arsenite - acid copper chromate and copper naphthenate - chromated copper arsenate – pentachlorophenol - fluoride chromate arsenate phenol - chlorinated paraffin.

ومن عنده خبرة بهذه المواد فليتحفنا بها.

- 5- رش الخشب دروياً بمواد ضد الفطريات Anti-fungus يكون مناسباً وطريقة فعالة في الوقاية ويتم امتصاصه داخل الخشب.
- 6- أخيراً استخدام أنواع معالجة من الخشب من شركات مُحترمة يضمن وقايته مما سبق ويكون معالجاً مضغوط بالضغط لا تستطيع الكائنات أن تخترقه (Pressure treated).

المهندس أيمن موسيليني عارف:

بالنسبة للخشب المثبت بمسامير يحتاج إلى إعادة "تربيط" من وقت لآخر ومهم جداً الكشف عليها والتأكد من عدم وجود تآكل ...

مسألة في اللون الناتج عن استخدام الخشب:

أحياناً يتسبب الخشب في أبراج التبريد في إضافة لون للمياه خاصة مع بداية التشغيل لإحتواء الخشب على بعض المواد الذائبة التي تسبب هذا التلون وهذا غير ضار ولا يجب أن يسبب إزعاج للعاملين بالوحدة ... ولكن يجب الحرص على لو كان هناك فوم في المياه باتحاده مع هذه المياه وخروجه عبر المراوح مع تيار الهواء قد يسبب إحداث صبغة للمكونات المجاورة للبرج ... ولذلك يجب وقف عمل المراوح في البرج حتى يتم السيطرة على الفوم.

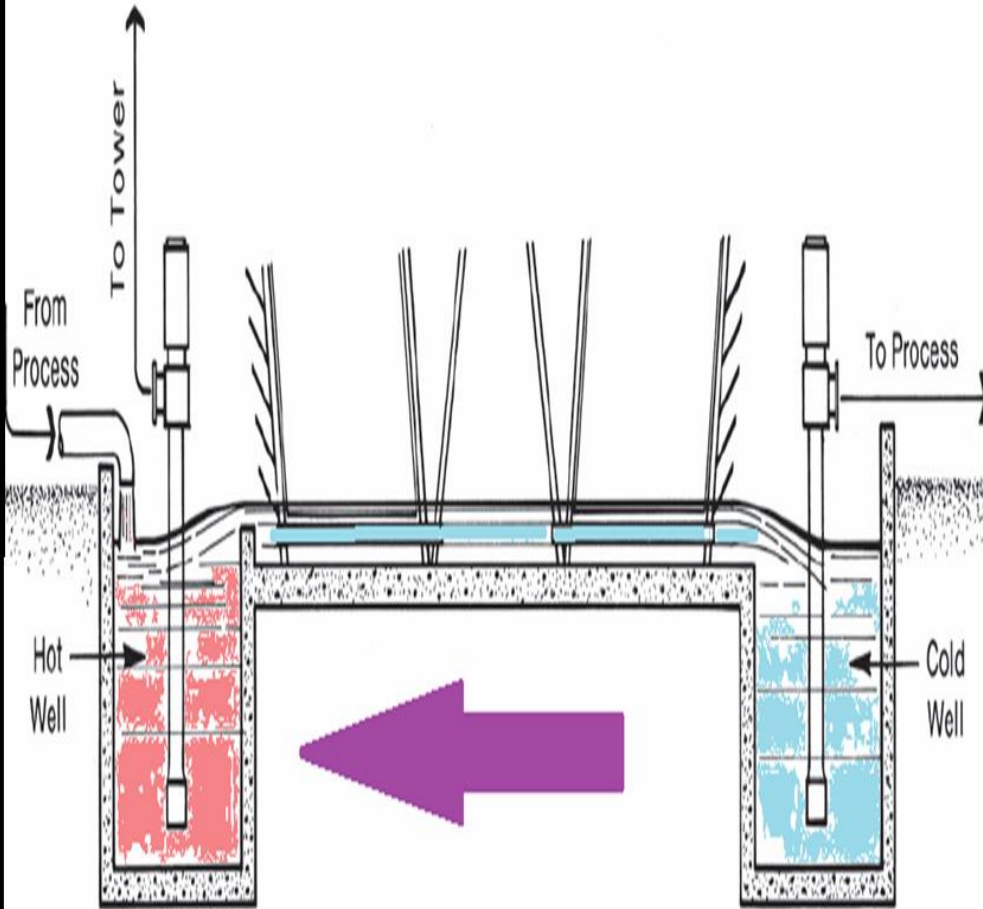


WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

35

حل مبتكر
لتبريد المياه
الداخلة على
برج التبريد!

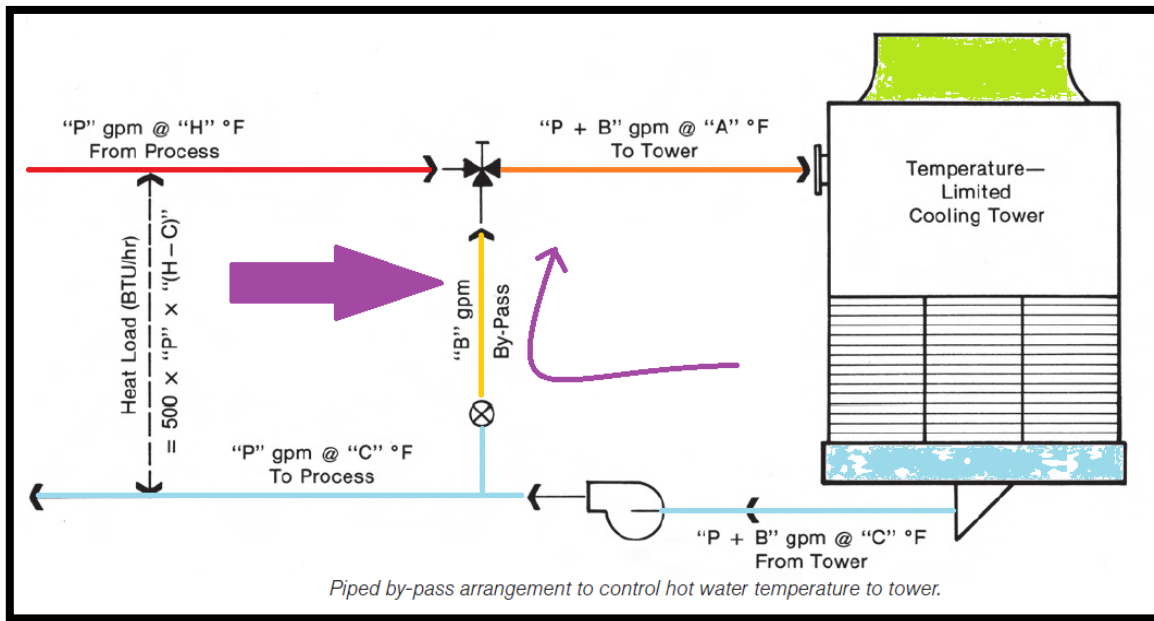


by-pass arrangement to control hot water temperature to tower.

النقاش الخامس و الثلاثون:-**35- حل مبتكر لتبريد الماء الداخل على برج التبريد!**

الماء الساخن القادم من المبادل الحراري (قد يكون فوق 60 درجة مئوية) والذي يدخل برج التبريد يؤثر على الخشب أو يزيد معدل التآكل مع المعادن ... فهل هناك حل لخفض درجة حرارته نوعاً ما قبل الدخول على البرج فتزيد كفاءة التبريد ونتجنب أخطار المياه الساخنة جداً؟
ابتكر الخبراء بعض الحلول الممكنة لخفض درجة حرارة المياه نوعاً ما قبل دخول برج التبريد ونذكر طريقتين:

1- عمل bypass للمياه الباردة الخارجة من البرج إلى المبادل الحراري ... هي فكرة بسيطة بحيث يتم خلط جزء منها مع المياه الساخنة القادمة من المبادل فتقل درجة حرارتها ... والطريقة تسمى piped by-pass method ... وإليك الصورة التوضيحية:



لتحديد معدل سريان المياه في ال by-pass يتم استخدام المعادلة التالية:

$$B = \frac{P \times (H - C)}{(A - C)} - P$$

حيث أن:

- B ← معدل سريان المياه في خط ال By-pass.
- P ← معدل سريان المياه في خط ال Process.
- A ← درجة حرارة المياه المقبولة الداخلة إلى البرج.
- C ← درجة حرارة المياه الباردة Cold water الخارجة من البرج.
- H ← معدل سريان المياه من ال Process إلى برج التبريد.

معدل السريان بالgpm أى جالون لكل دقيقة ... ودرجة الحرارة بالفهرنهايت (وثرأعى التحويلات بالطبع).

مثال واقعي:

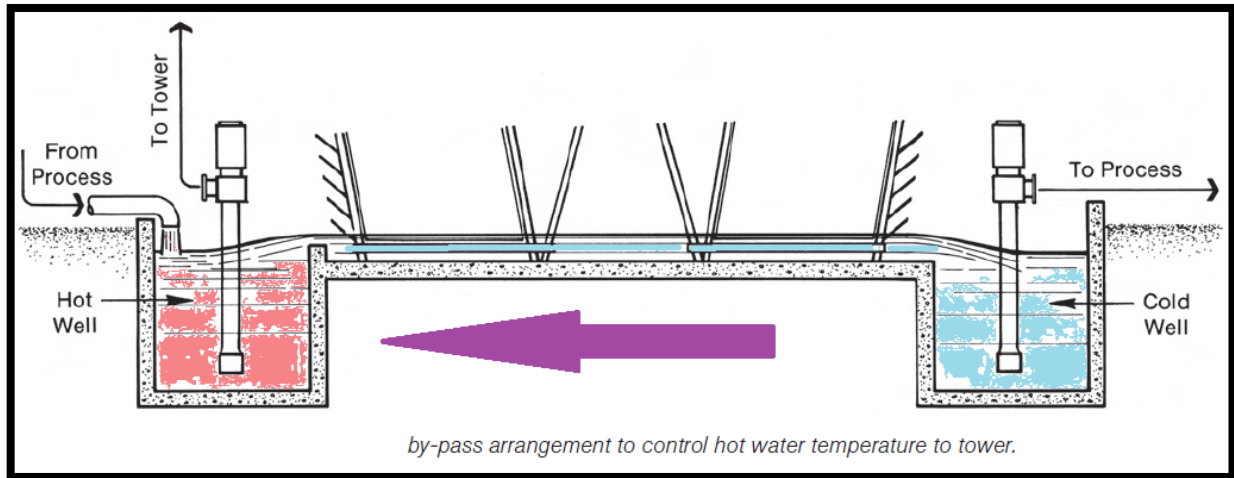
في أحد أبراج التبريد درجة حرارة المياه القادمة من ال Process 160 فهرنهايت وأقصى درجة حرارة هي 140 فهرنهايت ودرجة حرارة المياه الباردة الخارجة من البرج 90 فهرنهايت ... فيكون بدء السريان في ال By-pass الذي نحتاجه كالتالي:

$$B = \frac{P \times (H - C)}{(A - C)} - P = \frac{1000 \times (160 - 90)}{(140 - 90)} - 1000 = 400 \text{ GPM}$$

وبذلك يتم تصميم ال Bypass على هذا المعدل.

2- الطريقة الثانية:

عمل حوض للمياه الساخنة القادمة من ال process مع حوض للمياه الخارجة من برج التبريد cold basin وخلط جزء من المياه الباردة بالمياه الساخنة ... انظر الصورة التوضيحية:





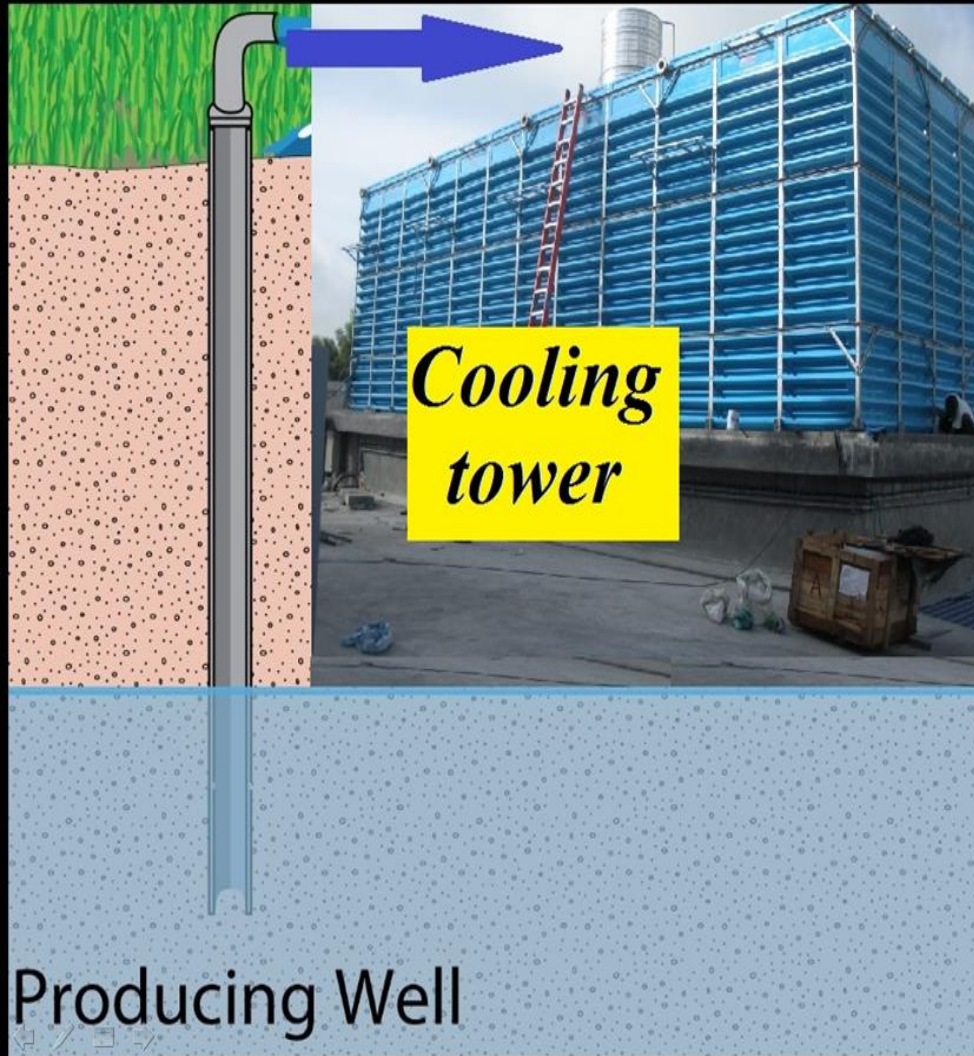
WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

36

برج تبريد
لمياه خارجة
من بئر!!

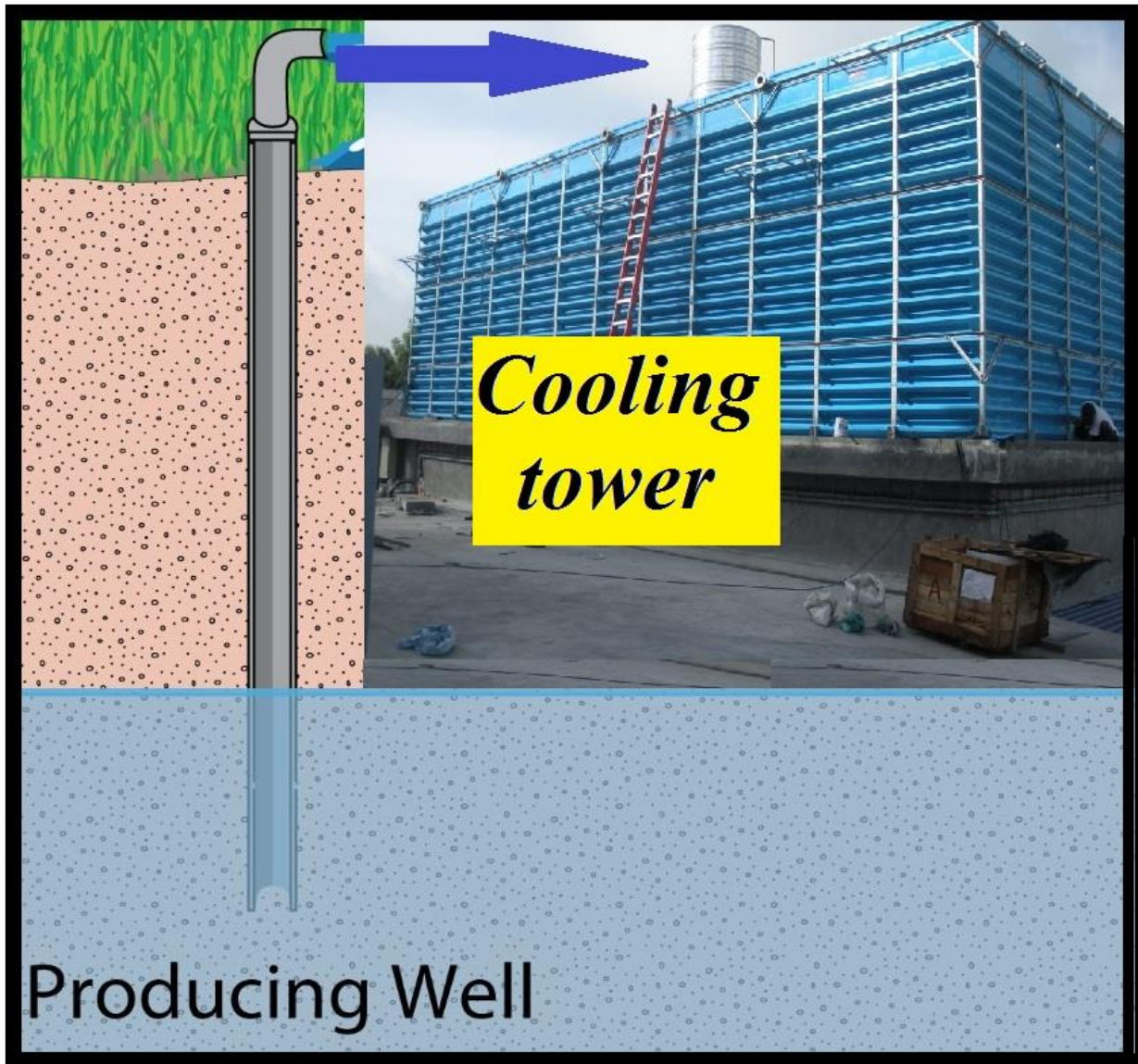
*Cooling
tower*



Producing Well

النقاش السادس و الثلاثون:-**36- الصدأ الأبيض!****برج تبريد لمياه خارجة من البئر!!**

قلنا من قبل أن أحد استخدامات برج التبريد هو تبريد المياه الخارجة من الآبار والتي تتميز أحياناً بارتفاع كبير في درجة حرارتها قد يصل إلى أكثر من 60 درجة مئوية ويؤثر ذلك على مكونات المعالجة الابتدائية والأغشية ... لذا نضع برج التبريد هنا ليس لتبريد مياه قادمة من مبادلات حرارية أو مكثفات إنما فقط لتبريد المياه الخارجة من البرج بدون تدوير نذهب به إلى وحدات التحلية مثلاً ... وتوضع اعتبارات هامة.



العكارة أو الـ silt أو الحديد أو المنجنيز يسببوا سدود في حشو البرج وحدوث ظاهرة الـ channeling وتقل تفكيك قطرات المياه فتقل كفاءة التبريد لقلة المساحة المعرضة للهواء. ولذلك لحماية برج التبريد وتقليل معدل استهلاك الطاقة فيه يأتي من خلال تقليل الحمل الخاص بالعكارة والحديد والمنجنيز وبقيّة الشوائب ... فلا بد إذن من معالجة أولية للمياه الخارجة من البئر ... حيث يتم وضع أحواض تهوية مع رفع الـ pH لترسيب الحديد والمنجنيز ثم أحواض ترسيب بالكواجيولات كالشبة وغيرها من المواد المخثرة المناسبة للمحطة. لو الحديد والمنجنيز كانوا بنسبة عالية فقد نلجأ للفلاتر الرملية الخضراء أو فلاتر البيرم ... هذا في العموم ... أما في هذه الحالة فلا يصلح ... فلماذا ... سؤال تنشيطي للخبير!!!

هناك حالتان مع استخدام المعالجات الأولية السابقة:

- 1- الحالة الأولى ... لو كانت التهوية والمعالجة كافية في خفض درجة حرارة مياه البئر للدرجة المطلوبة فيتم الاستغناء أصلاً عن برج التبريد.
- 2- الحالة الثانية ... لو كانت التهوية والمعالجة غير كافية في خفض درجة حرارة مياه البئر للدرجة المطلوبة فيتم وضع برج تبريد ولكن بالتأكد مع تقليل سعته التصميمية. والبعض يضع أنتيسكيل قبل برج التبريد لمنع ترسب الأملاح في البرج ويمتد تأثيره إلى الوحدات التالية مثل وحدات الـ RO ... ولكن يجب المتابعة قبل وبعد.

المهندس نادر النجار:

في بعض الحالات يتم حقن مشتبته قبل برج التبريد وذلك لمنع تراكم الحديد على حشوات البرج وبالتالي تقل كفاءة التبريد ونحتاج طاقة أعلى لزيادة سرعة المراوح ... كذلك يتم تركيب فلتر ميكروني قبل محطة RO لمنع مرور الحديد المؤكسد.

مسألة:

قلنا أن أي عنصر من العناصر الملحية يزيد في دائرة برج التبريد مع زيادة دورات التركيز ... وهناك استثناء ... أن يقل تركيزه في برج التبريد عن المياه الخام! ... وهذا أمر مجرب مع تركيز الحديد لو كانت مياه التغذية بئر به نسبة عالية من الحديد ... تدخل برج التبريد فيتأكسد الحديد في البرج ويترسب على القاع وتخرج المياه بنسبة أقل في الحديد (مثلاً من 5 جزء في المليون إلى 3 جزء في المليون فيكون الذي تم أكسدته في البرج 2 جزء في المليون وهذا بالطبع ضار على البرج ... ولذا نقوم بمعالجة أولية كما قلنا).



WTEF

مناقشات علمية حول كيمياء دوائر وأبراج التبريد

37

مصير

مياه التفوير!!



النقاش السابع و الثلاثون:-**37- مصير مياه التفوير!**

مياه التفوير Blow-down water أو Bleed-off أو Bleed-off water أو purge water أو discharge water ... بعد خروجها من برج التبريد ... هل لها استخدامات؟؟؟ مناقشة مفتوحة بناءً على خبراتكم.

الاقتراحات:

- 1- الالقاء في الصرف كصرف البحر مادام مطابق للمواصفات البيئية.
- 2- مياه التفوير من الممكن أن تعالج (بالفلترية والتعقيم) وتخزن لتستخدم في الغسيل العكسي للفلاتر الرملية والمالتييميديا.
- 3- تنظيف دورات المياه.
- 4- استخدامها في الزراعة وري المسطحات الخضراء.
- 5- بعض الشركات لديها برج بعدد دورات تركيز محدودة وملتزم بها ولا يمكن أن يتعداها ... وبالتالي فإن مياه التفوير يكون فيها جزء كبير من الكيماويات يتم الاستفادة منها كمياه تعويض make-up صالحة لدخوله على برج تبريد ثاني بدلاً من الصرف على المجاري ... هي في الحقيقة مياه High quality يتم نقلها إلى مياه تبريد Low quality.
- 6- عمل معالجة لهذه المياه تبعاً لطبيعتها كاستخدام الفلاتر الرملية أو المالتييميديا والفلاتر الكربونية للتخلص من المواد العضوية والألترافلتريشن ثم تدخل على منظومة تناضح عكسي RO ليتم استخدامها مرة أخرى.
- 1- يمكن أيضاً خلطها مع ريجيكت لمراحل أخرى من التناضح العكسي أو مياه صرف صناعي معالجة أو مياه خارجة من غسيل وحدات التبادل الأيوني لتدخل سوياً على الRO.
- 7- استخدام تقنية الZLD أو Zero liquid charge بحيث نستفيد بكل قطرة من مياه التفوير ... وفكرتها باختصار شديد هو نزع الأملاح من المياه وإعادة استخدام المياه مرة أخرى ... يتم ذلك باستخدام مبخر Evaporator machine وإعادة تكثيف للمياه المتبخرة ثم وحدة مجفف حيث يتم نزع المياه من الأملاح وتخرج المياه لوحدة RO مثلاً أو لأي استخدام مناسب ... أيضاً من الممكن استخدام برك تبخير evaporation ponds لو المساحة تسمح مع وجود طاقة شمسية في المكان بدون الإعتماد على آلة التبخير.
- القرار باستخدام تقنية الZLD يعتمد على العامل الإقتصادي والعامل البيئي كما أن الديزاين الخاص بها يختلف من مشروع لآخر.

ما تعليقاتكم على ما سبق؟ وهل من مقترحات أخرى؟

تعليق المهندس أيمن موسيليني عارف:

بالفعل عندي يتم استخدام مياه Blow-down مع مياه Reject لوحدة RO مع مياه خارج تنشيط Demi-water unit مع waste water من خلال منظومة ZLD وتكون مراحلها من تنك تجميع وفلاتر رمل + Ultra-filtration ثم RO ... وطبعاً هذه منظومة تحتاج عناية فائقة من متابعة تشغيل وصيانة وأفراد مدربين للتعامل مع هذه المنظومة وبالنسبة للـ ZLD على حسب مواصفة المياه التي عندك والتلوث فيها ... ويتم عمل دراسة لمكونات الوحدة

سؤال متدرب:

عندنا يتم إعادتها لمحطة معالجة الصرف الصناعي وبعد المعالجة يتم استخدامها مرة أخرى كـ makeup water for cooling towers ... والسؤال: هل هناك محاذير أو شروط لإعادة استخدامها مرة أخرى؟ هل يلزم زيادة الجرعات الكيماوية؟

رد المحاضر:

طبعاً كما تعلم يا هندسة ... هذا يعتمد على أمرين ... نتائج التحليل الكامل لمياه التفوير ... وشروط دخول المياه على تقنية أخرى ... فمثلاً أغشية التناضح العكسي يتم النظر إلى شروط المياه الداخلة عليها ... ولاشك أن ذلك يحتاج متابعة دورية لمياه التفوير.

تعليق المهندس نادر النجار:

هناك أيضاً تأثير لمياه برج التبريد الراجعة إلى محطة المعالجة على النشاط البيولوجي للمحطة بسبب أنه يحتوي على البيوسايد المؤكسد والغير مؤكسد.

تعليق المهندس أيمن موسيليني عارف:

وأحياناً يوجد برجين تبريد لمصنع واحد ... مثلاً في مصانع الأسمدة ... يوجد برج تبريد لمصنع الأمونيا وبرج لمصنع اليوريا ... برج مصنع اليوريا أغلب مكونات المبادلات تكون من الاستانلس لذلك يكون حساب دورات التركيز على أيون الكلوريد ... وبرج مصنع الأمونيا تكون دورات التركيز محسوبة على الكالسيوم أو العسر الكلي لذلك تكون الأملاح في برج اليوريا أقل من برج الأمونيا ويتم استخدام التفوير لبرج اليوريا الأقل تركيز makeup لبرج الأمونيا الأعلى تركيز للاستفادة من الكيماويات.

المراجع العلمية

- Basic of cooling towers by Yasser Badr 2018.
- Basic cooling water treatment principles by John Cowpar.
- Best management practice and guidance manual for cooling towers (by JEA).
- Cooling water treatment "principles and practice" by Colin Frayne.
- Cooling water treatment (by Nalco).
- Cooling towers and salt water (paper published by SPX cooling technologies).
- Cooling water by Bureau of Energy Efficiency.
- Cooling tower seminar and workshop by Nalco.
- Corrosion coupons weight loss analysis by Metal Samples Company.
- Corrositivity of water in the absence of heat transfer (Weight loss method). ASTM D 2688.
- Calculation and adjustment of Langelier Saturation Index for reverse osmosis. ASTM D 5739.
- Cooling tower water management by ProChemtech international.
- Corrosion inhibitors: principles, mechanisms and applications by Camila G. Dariva and others.
- Cooling tower modification for intermittent operation by William S. Midkiff.
- Cooling water control program (by Dr.Soliman Emara – Ensol).
- Counter-flow evaporative condensers (Evapco).
- Corrosion inhibitors – principles, mechanisms and applications by Camila G.Dariva.
- Cooling product testing and control by Dave Christopersen ,CWT.
- Calculation of effect of cycles of concentration on amount of makeup water necessary for sea water cooling towers at Diablo Canyon Power Plant (Bill powers)
- Cooling water problems and solutions (A.Bhatia).
- Corrosion , fouling and scale formation in sea water cooling system , a case study with reference to scaling problem of NTPV-Simhadri unit # 3 (By P Ghosh).

- **Cooling water system control by (Ch: Ahmed Adel Sherif).**
- **Cooling water (GE power systems).**
- **Cooling tower fundamentals by Marley.**
- **Chilled water treatment by Mohammed Afifi.**
- **Code of practice for water treatment service providers (Cooling tower systems) [Public health group- Victoria].**
- **Corrosion Coupon Rack installation, operation manual (Pulsafeeder).**
- **Cooling water management: basic principles and technology by Timthy Keister, CWT.**
- **Chemical Water Treatment Recommendations for Reduction of Risks Associated with Legionella in Open Recirculating Cooling Water Systems by Betzdearborn.**
- **Factors that impact scale inhibitor mechanisms by Lorraine Scott Boak.**
- **Fouling during the use of sea water as coolant (Engineering conferences international 2003).**
- **Ethylene glycol: Environmental aspects (WHO – Geneva 2000).**
- **Determination of closed system volume by G.F Yuzwa , P.Eng.**
- **Effect of nitrite ion on corrosion inhibition of mild steel in simulated cooling water. (Siragul Karim and others).**
- **Design and performance analysis of a cooling tower in sulfuric acid plant (B.A Chrowdhury)**
- **Guidelines for managing water in cooling systems (by San Jose/Santa Clara water pollution control plant and the city of San Jose Environmental Service department.**
- **Environmentally friendly corrosion inhibitors by Rafael Marinez, Octavio Olivars and others.**
- **The selection and application of non-oxidizing biocides for cooling water systems by Colin Frayne.**
- **Operation and maintenance instructions for Evapco induced draft and forced draft cooling towers (Evapco).**
- **Foaming cooling tower by James Mcdonald.**

- **Water treatment and distribution, source, used and quality (Engineering Encyclopedia by Saudi Aramco).**
- **Sulfuric acid plant cooling tower improvements (GE water & process technologies).**
- **Water conservation in cooling towers by Airall.**
- **GE Book water treatment.**
- **Inhibitor choice and dosage (for scale control in cooling towers) by Robert R. Cavanaugh.**
- **A guide to glycols (by Dow Company).**
- **Determination of closed system volume by G.F. Yuzwa, P.Eng. (H2O Engineering LTD).**
- **Sea water cooling tower by Marley.**
- **Treatment and corrosion control of cooling water (by Rose Corrosion Services Limited).**
- **Water treatment and distribution /water treatment systems (Engineering Encyclopedia).**
- **Water treatment for cooling towers (HPAC articles).**
- **Legionellosis (by Cooling Technology Institute CTI).**
- **Scale and deposit control polymers for industrial water treatment by Rober W.Zuhl.**
- **White rust prevention (by AWT).**
- **The effect of corrosion inhibitors on stainless steels and Aluminum alloys (African Journal of pure and applied chemistry).**
- **pH & total alkalinity by James McDonald.**
- **Sea water cycling cooling and its industrial application (IC3ME 2015)**
- **Water quality guidelines (BAC technical resources).**
- **Treatment and corrosion control of cooling water (Rose corrosion services limited).**
- **Legionella and the prevention of Legionellosis (WHO).**
- **Using salt water in cooling towers by John S.Maulbetsch and Michael N. Difilippo.**
- **Palintest water analysis technologies organophosphate (OP) (Micro titration methods)**
- **Palintest water analysis technologies organophosphate (OP) (Photometer method)**

- Phosphate testing by International Chemtex Corporation)
- Prepare your cooling system before start-up (By Paul. R Puclorius).
- Sea water cooling system for Joibail 2 (Royal commission for Jubail & YanBu).
- The proper use of modern polymer technology in cooling water programs). (Association of water technologies (AWT).

- دراسة نظرية وعملية لأداء برج التبريد باستخدام أنواع مختلفة من الحشوات. مجلة الهندسة والتنمية. المجلد الثاني عشر العدد الرابع 2009 (جامعة الموصل – العراق).
- معالجة دوائر مياه أبراج التبريد لتلافي مشاكل الترسيب والتآكل والأملاح العالقة والطحالب (ك/أيمن عوني)
- استعمال بعض المؤشرات للتنبؤ بحدوث الترسبات القشرية أو التآكل للمنظومات المائية بشمال غرب ليبيا (المجلة العربية للعلوم الزراعية).
- محددات تصميم أبراج التبريد الطبيعي . د/ يحيى وزيري.
- الدورة التدريبية لأبراج التبريد بتاريخ مايو 2018 للدكتور/ أحمد أنور (تحت إشراف منتدى خبراء تكنولوجيا المياه)
- برنامج المعالجة الكيماوية لدوائر التبريد الغير مباشرة (م ماهر خميس)
- معالجة دوائر مياه أبراج التبريد لتلافي مشاكل الترسيب والتآكل والأملاح العالقة والطحالب (كيميائي: أيمن عوني محمود عيد).
- الدورة التدريبية لنظام التكييف المركزي (إعداد م/الموحد بالله – تنسيق وإضافة بعض الأجزاء م/ محمد سمير حلمي).
- مناقشات وآراء الخبراء على منتدى خبراء تكنولوجيا المياه (WTEF) (مواقع التواصل الاجتماعي).

كلمة أخيرة

تم بحمد الله وتوفيقه الإنتهاء من الدورة التدريبية الخاصة بدوائر وأبراج التبريد على منتدى خبراء تكنولوجيا المياه ... يستطيع المدربون في أنحاء الوطن العربي الاقتباس من هذه المادة العلمية وتدريب كوادر جديدة تحمل شعلة العلم عبر الأجيال التالية ... والشكر موصول للمهندس محمد خليفة مدير هذا الصرح العظيم الذي حقق – بفضل الله – تطوراً وإزدهاراً في شتى المجالات المتعلقة بعلوم وتكنولوجيا المياه ... والشكر موصول كذلك للخبراء الذين شاركوا بعلمهم وخبراتهم في الأحاديث الشيقة التي أثرت الدورة التدريبية ... ونسأل الله العلي القدير المزيد من التقدم لأمتنا العربية وتحقيق الريادة والتفوق في شتى المجالات.

كيميائي/ وليد السيد محمود

جمهورية مصر العربية - نوفمبر - 2019



<http://WaterTechExperts.com>

تم بحمد الله وتوفيقه.



منتدی خبراء ٲکنولوجیا المیاہ
Water technology Experts forum (WTEF)



www.watertechexperts.com



www.facebook.com/water.experts