REPLACING GLYCOL DEHYDRATORS WITH DESICCANT DEHYDRATORS

استبدال عوازل المياه التي تعمل بالجليكول بعوازل المياه التي تعمل بالمجففات

ملخص تنفيذي

هناك ما يقرب من ٣٠٠٠٠ بئر للغاز على البر تعمل بالضغط المرتفع في الولايات المتحدة الأمريكية. تنتج هذه الآبار تريليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي سنويًا. يشتمل ما يقرب من ٧٠٠ بئر من هذه الآبار على عوازل مياه تقليدية تعمل بالجليكول. وتؤدي هذه العوازل إلى إخراج مليار قدم مكعب مقدر من غاز الميثان سنويًا إلى الجو. تُخرج عوازل المياه التي تعمل بالجليكول الميثان والمركبات العضوية المتطايرة وملوثات الهواء الضارة إلى الغلاف الجوي من وحدة إعادة توليد الجليكول كما تؤدي أيضًا إلى تسرب الغاز الطبيعي من أجهزة التحكم الهوائية. تؤدي هذه العملية إلى إضاعة الغاز وتكلفة المال وتساهم في المشكلات المحلية الخاصة بنقاء الهواء إضافة إلى التغيير المناخي العالمي.

توصل شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي إلى كون استبدال عوازل المياه التي تعمل بالجليكول بعوازل مياه تعمل بالمجففات يعمل على خفض معدلات انبعاث غاز الميثان والمركبات العضوية المتطايرة وملوثات الهواء الضارة بنسبة ٩٩% تقريبًا إضافة إلى تقليل تكاليف التشغيل وتكاليف الصيانة. في عازل المياه الذي يعمل بالمجففات، يمر الغاز الرطب عبر حشية التجفيف الخاصة بأقراص المجفف. تعمل الأقراص على سحب الرطوبة من الغاز وتنحل تدريجيًا في العملية. ولأن الوحدة مغلفة تمامًا، تحدث انبعاثات الغاز فقط عند فتح الوعاء ومثالاً على ذلك عند إضافة أقراص تجفيف جديدة.

يوضح التحليل الاقتصادي أن استبدال عازل المياه الذي يعمل بالجليكول والذي ينتج مليون قدم مكعب في اليوم من الغاز بعازل مياه يعمل بالمجففات يمكن أن يؤدي إلى توفير ما يزيد على ٩٢٣٢ دولار في العام من غاز الوقود والغاز الذي يتم تصريفه وتكاليف التشغيل والصيانة إضافة إلى خفض معدلات انبعاث غاز الميثان بمعدل ٤٤٤ ألف قدم مكعب تقريبًا في العام. تعمل هذه الدراسة الخاصة بالدروس المستفادة على وصف كيفية تحديد الشركاء للمناطق التي يمكن أن يتم فيها تطبيق عوازل المياه التي تعمل بالمجففات إضافة إلى تحديد مزاياها الاقتصادية والبيئية.

طريقة خفض معدلات انبعاث غاز الميثان[١]	فوائض انبعاثات الميثان (ألف قدم مكعب/عام)[٢]	حجم فوائض الغاز الطبيعي (ألف قدم/عام)[٣]	قيمة فوائض الغاز الطبيعي (ألف قدم/عام)[٤]	تكلفة التطبيق[٥]	تكاليف أخرى[٦]	العوائد (شهور)
استبدال عازل المياه الذي يعمل بالجليكول بعازل مياه يعمل بالمجففات	٤٤٤	١٠٦٣	٧٤٤١ دولار	١٥٧٨٧ دولار	١٧٩١ دولار	٢١

[١] بناءً على عازل المياه الذي يعالج مليون قدم مكعب ويعمل على ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة و٤٧ درجة فهرنهايت.
[٢] الفرق بين الميثان الخارج من عوازل المياه التي تعمل بالجليكول وعوازل المياه التي تعمل بالمجففات.
[٣] كمية خفض انبعاثات الغاز الصافية وفوائض غاز الوقود.
[٤] بناء على سعر الغاز البالغ ٧ دولارات.
[٥] تكلفة تركيب بعازل مياه يعمل بالمجففات مطروحا منها قيمة المعدات الزائدة الخاصة بعازل المياه الذي تم استبداله.
[٦] الفرق بين تكاليف التشغيل والصيانة لعازل المياه الذي يعمل بالجليكول وعازل المياه الذي يعمل بالمجففات.

هذه سلسلة واحدة من "ملخصات الدروس المستفادة" التي أعدتها "وكالة الحماية البيئية" (EPA) بالتعاون مع جهات صناعة الغاز الطبيعي بخصوص التطبيقات الفائقة لـ"أفضل ممارسات الإدارة" (BMPs) والفرص المذكورة من جانب الشركاء (PROs) التابعة لبرنامج ستار للغاز الطبيعي Natural Gas STAR.

الدروس المستفادة

الخلفية الفنية

عادة ما يتم إشباع الغاز الطبيعي الذي يتم إنتاجه بالمياه. وإذا لم تتم إزالة المياه، فإنها قد تتكثف أو تتجمد في أنابيب تجميع ونقل وتوزيع الغاز مما يؤدي إلى سد الأنابيب وتدفقات الضغط والتآكل. من أجل تجنب هذه المشكلات، يتم إرسال الغاز الذي يتم إنتاجه عبر عازل المياه حيث يتصل بعامل إزالة المياه مثل ثلاثي إيثيلين الجليكول أو ثنائي إيثيلين الجليكول أو بروبلين كربونات. في العملية الأكثر شيوعًا، وهي عزل المياه باستخدام الجليكول، يعمل ثلاثي إيثيلين الجليكول على امتصاص المياه من الغاز إضافة إلى الميثان والمركبات العضوية المتطايرة وملوثات الهواء الضارة. يتم حينذاك غلي المياه والكربون المائي الذين تم امتصاصهم في وحدة إعادة الغليان/وحدة إعادة التوليد ثم تخرج إلى الجو (انظر *الدروس المستفادة لهيئة الحماية البيئية الأمريكية: تحسين تدوير الجليكول وتركيب فواصل الخزانات الفجائية في عوازل المياه التي تعمل بالجليكول*).

وقد أبلغ شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي عن نجاحهم في استخدام طريقة بديلة لتجفيف الغاز: عوازل المياه التي تعمل بالمجففات. تستخدم هذه العوازل أملاحًا ماصة للرطوبة لإزالة المياه من الغاز دون تصريف كميات كبرى من الميثان أو المركبات العضوية المتطايرة أو ملوثات الهواء الضارة.

المجففات

تم استخدام الأملاح السائلة مثل الكلسيوم والبوتاسيوم وكلوريد الليثيوم في صناعات النفط والغاز لعزل المياه من منتجات البترول على مدار أكثر من ٧٠ عامًا. تعمل هذه الأملاح عادةً على جذب وامتصاص الرطوبة (مسترطبات) وتنحل تدريجيًا لتكوين محلول ملحي. هذا، وتعتمد كمية الرطوبة التي يمكن إزالتها من غاز الهيدركربون على نوع المجفف ودرجة حرارة الغاز وضغطه. يمكن أن يعمل كلوريد الكالسيوم، المجفف الأكثر شيوعًا والأرخص ثمنًا، على تحقيق محتويات رطوبة ذات جودة لخط الأنابيب بدرجة حرارة أقل من ٥٩ فهرنهايت وضغط أعلى من ٢٥٠ رطل لكل بوصة مربعة. وأما كلوريد الليثيوم، الذي يعد أكثر تكلفة، فيكون له نطاق تشغيلي أكبر: أعلى من ٧٠ درجة فهرنهايت وأعلى من ١٠٠ رطل لكل بوصة مربعة. يقدم الملحق (أ) محتويات الرطوبة المتوازنة للغاز الطبيعي الذي يتم إزالة المياه منه باستخدام الأملاح المتاحة تجاريًا مثل الكالسيوم وكلوريد الليثيوم.

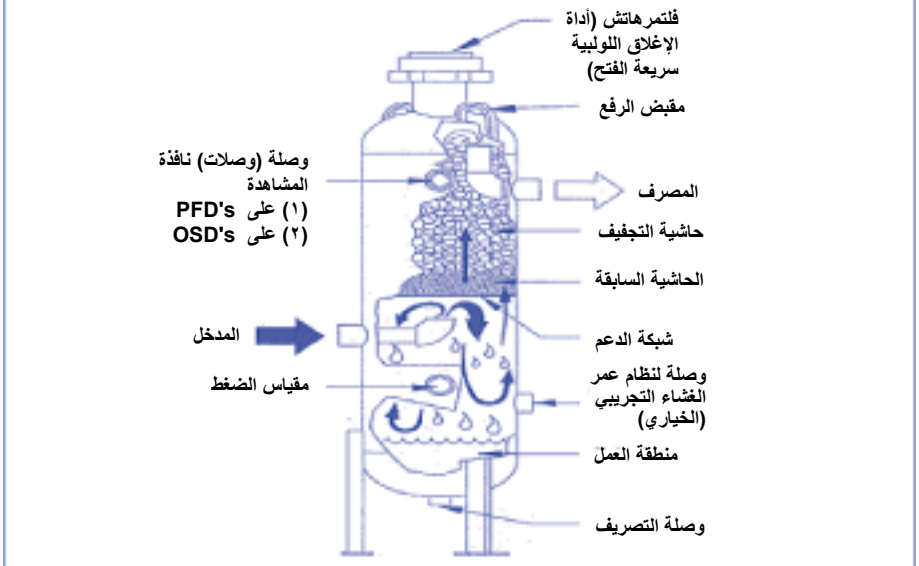
وصف العملية

يعد عازل المياه الذي يعمل بالمجففات جهازًا شديد البساطة. إنه لا يشتمل على أي أجزاء متحركة ولا يحتاج إلى مصدر طاقة خارجي. وعليه، فإنه يكون خيارًا مثاليًا للأماكن النائية.

وكما هو موضح في الرسم التوضيحي (١)، فإن الغاز الطبيعي الرطب يدخل بالقرب من قاع وعاء عازل المياه أسفل شبكة الدعم الخاصة بالمجفف. تعمل شبكة الدعم والحشية المسبقة الكروية من السيراميك على منع الأقراص المجففة من السقوط في الحوض المجمع للأملاح (منطقة العمل). يتدفق الغاز الرطب إلى أعلى من خلال حشية التجفيف. عندما يتصل الغاز بسطح الأقراص، تعمل الأملاح المجففة على إزالة بخار الماء من الغاز (عزل المياه) وحال استمرار المجفف في إزالة بخار الماء من الغاز، تتكون قطيرات من المحلول الملحي وتسقط إلى أسفل خلال حشية التجفيف إلى حوض تجميع المحلول الملحي (منطقة العمل) أسفل الوعاء. تعمل هذه العملية الخاصة بتكوين المحلول الملحي تدريجيًا على حل المجفف.

يمكن صرف المحلول الملحي الذي تم تجميعه في منطقة العمل على أساس دوري إلى خزان المحلول الملحي (أو المياه الناتجة) أو (عند السماح بذلك) إلى حوض التبخير. يمكن إلقاء المياه الناتجة والمحلول الملحي الذي تم تكوينه في عمق البئر بالقرب من الموقع أو استخراجها بشكل دوري للتخلص منها خارج الموقع.

الرسم التوضيحي ١: مخطط عازل المياه الذي يعمل بالمجففات ذا الوعاء الفردي



المصدر: فان إير

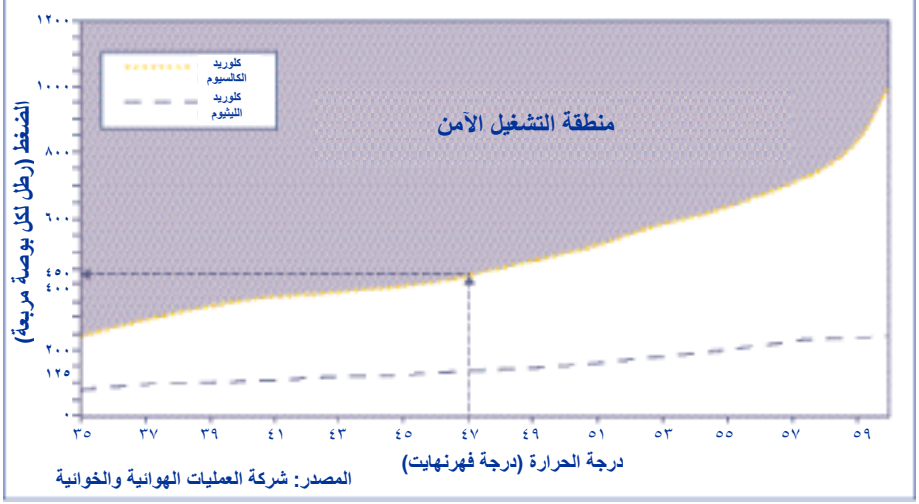
الدروس المستفادة

في حالة توفر حشية التجفيف ذات العمق الكافي، يصل الغاز على محتوى الرطوبة المتوازن مع المجفف قبل وصوله إلى أعلى حشية التجفيف. تتم الإشارة إلى الملح الزائد على الحد الأدنى من العمق المطلوب لتحقيق محتوى الرطوبة المتوازن بحشية الملح العامل: يتم إعادة ملء هذا الخزان العامل على أساس دوري. من أجل تجنب وقف إنتاج الغاز أو تجنب الغاز الرطب لخط المبيعات عند إعادة ملء عازل المياه الذي يعمل بالمجففات، تستخدم معظم التركيبات وعاءين كحد أدنى: أحدهما في خدمة التجفيف ويتم ملء الآخر بالملح.

متطلبات التشغيل

من أجل حماية خطوط الأنابيب الخاصة بهم، يقوم المنتجون بتجفيف الغاز إلى نقطة ندى أقل من الحد الأدنى من درجة الحرارة المتوقعة في خط الأنابيب. إذا لم يتم تجفيف الغاز بشكل ملائم، فيمكن أن تتكثف المياه والسوائل الأخرى كمهدئات للغاز يمكن أن تؤدي إلى سد خط الأنابيب أو تآكله. ولتجنب ذلك، يقوم المنتجون عادة بعزل المياه من الغاز بمواصفات رطوبة لخط الأنابيب بين ٤ إلى ٧ أرطال من المياه لكل مليون قدم مكعب من الغاز. توضح منحنيات أداء المجفف مزيج درجة الحرارة والضغط الذي سوف ينتج في الغاز الذي يفي بمعايير رطوبة خط الأنابيب. يوضح الرسم التوضيحي (٢)، المشتق من جدول محتوى الرطوبة في الملحق (أ) مزيج درجة حرارة الغاز وضغط الغاز والذي قد ينتج في ٧ أرطال من المياه لكل مليون قدم مكعب في الغاز لاثنين من المجففات الأكثر شيوعًا. تمثل المنطقة المظللة فوق خط التشبع في الرسم التوضيحي ٢ "منطقة تشغيل آمنة" لعوازل المياه التي تعمل بكلوريد الكالسيوم حيث سيكون الغاز متماشيًا مع مواصفة رطوبة خط الأنابيب أو في مستوى أقل منها. يستخدم المشغلون هذه المنحنيات لتحديد الحد الأدنى من ضغط الغاز اللازم لضمان محتوى الرطوبة المحدد. في هذا المثال يجب ضغط عازل المدخل بدرجة حرارة ٤٧ فهرنهايت والذي يمر عبر عازل المياه الذي يعمل بكلوريد الكالسيوم إلى ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة على الأقل وذلك من أجل الوفاء بمعيار ٧ أرطال لكل مليون قدم مكعب. تتضح المنحنيات الخاصة بكلوريد الكالسيوم والليثيوم رغم ندرة استخدام كلوريد الليثيوم نتيجة لتكلفته العالية.

الرسم التوضيحي ٢: منحنيات أداء المجفف بالحد الأقصى من متطلبات محتوى رطوبة خط الأنابيب (٧ أرطال من المياه/مليون قدم مكعب)



المصدر: شركة العمليات الهوائية والخوانية

إعادة ملء المجففات وسحب المحلول الملحي.

عندما تمتص أقراص المجفف الرطوبة، من الغاز، ينخفض عمق أقراص المجفف في حشية التجفيف ببطء. يضع بعض المصنعون نافذة (زجاجية للمشاهدة) على الوعاء (انظر الرسم التوضيحي (١)) على الحد الأدنى من مستوى المجفف. عندما يصل أعلى المجفف نافذة المشاهدة، يحتاج المشغل إلى إعادة ملء المجفف إلى الحد الأقصى. تعد إعادة ملء الحشية العاملة عملية يدوية تتضمن تحويل تدفق الغاز إلى وعاء آخر لعزل المياه وإغلاق الصمام لعزل الوعاء "الفارغ"، وتصريف ضغط الغاز إلى الجو، وفتح باب المرشح العلوي، وسكب حبيبات المجفف في الوعاء. يتطلب ذلك من المشغل غمر حقيبة أو أكثر بها من ٣٠ إلى ٥٠ رطل من الملح في الوعاء بناء على تصميم عازل المياه. ولأن هذا الإجراء يتطلب القيام به بشكل متكرر، فكلما كانت السعة الإنتاجية للغاز أكبر، تم استخدام عوازل المياه التي تعمل بالمجففات حيث يكون حجم الغاز الذي يتم تجفيفه ٥ مليون قدم مكعب أو أقل.

في بعض الأحيان، يتم صرف المحلول الملحي الكائن في منطقة العمل يدويًا (عادة يتراكم من ١٠ إلى ٥٠ جالون من المحلول الملحي أسبوعيًا من عوازل المياه التي تعمل بالمجففات). يتم الصرف إلى حوض التبخير بأفضل طريقة بعد إزالة ضغط الوعاء، بينما يمكن الصرف إلى خزان المياه الناتجة قبل إزالة الضغط من الوعاء مع الاستفادة من ضغط الغاز لدفع المحلول الملحي في الخزان. وفي القليل من الأحيان، يمكن ضخ المحلول الملحي في شاحنة الخزان باستخدام مضخة "مزدوجة".

الدروس المستفادة

المزايا الاقتصادية والبيئية

يمكن أن يسفر استخدام عوازل المياه التي تعمل بالمجففات كبدائل عن عوازل المياه التي تعمل بالجليكول عن مزايا اقتصادية وبيئية كبرى، بما في ذلك:

- ★ **تقليل التكاليف المالية.** تعد التكاليف المالية لعوازل المياه التي تعمل بالمجففات منخفضة مقارنة بالتكاليف المالية لعوازل المياه التي تعمل بالجليكول. لا يستخدم عازل المياه الذي يعمل بالمجففات مضخة التدوير أو أجهزة التحكم الهوائية أو سخان الغاز أو وحدة إعادة الغليان/وحدة إعادة التوليد الذي يعمل بالنار.
- ★ **تخفيض تكلفة التشغيل وتكلفة الصيانة.** تحرق عوازل المياه التي تعمل باستخدام الجليكول كمية كبيرة من الغاز الذي يتم إنتاجه للوقود في سخان الغاز ووحدة إعادة توليد الجليكول. إذا كان صمام تصريف المحلول الملحي تلقائيًا، فسوف تكون تكلفة التشغيل والصيانة الوحيدة هي تكلفة إعادة ملء حشية المجفف.
- ★ **خفض معدلات انبعاث غاز الميثان والمركبات العضوية المتطايرة وملوثات الهواء الضارة-** تُخرج عوازل المياه التي تعمل بالجليكول الغاز بشكل مستمر إلى الجو من الأجهزة الهوائية وفتحة وحدة إعادة توليد ثلاثي إيثيلين الجليكول. تحدث انبعاثات الغاز الوحيدة من عوازل المياه التي تعمل بالمجففات أثناء إزالة الضغط من وعاء المجفف لإعادة ملء الأملاح ويكون ذلك بحجم وعاء واحد في الأسبوع. يتم إنتاج المحلول الملحي بكميات صغيرة ويمتص المحلول الملحي القليل من الكربون المائي.

عملية اتخاذ القرار

يمكن للشركاء تقييم المواقع الممكنة والمزايا الاقتصادية لاستبدال عوازل المياه الحالية التي تعمل بالجليكول بأخرى تعمل بالمجففات بناء على الخطوات الخمس التالية:

خمس خطوات لتقييم عازل المياه الذي يعمل بالمجففات

١. قم بتحديد الأماكن الملائمة.
٢. قم بتحديد سعة عازل المياه.
٣. قم بتقدير التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل.
٤. قم بتقدير الفوائض.
٥. قم بإجراء التحليل الاقتصادي.

الخطوة ١: قم بتحديد الأماكن الملائمة. تعد عوازل المياه التي تعمل بالمجففات خيارًا اقتصاديًا في ظل ظروف تشغيلية محددة. يتم تحديد قابلية هذه العوازل للتطبيق بشكل أساسي من خلال السعة الإنتاجية للغاز ودرجة حرارة وضغط الغاز الناتج. تعمل عوازل المياه التي تعمل بالمجففات بشكل أفضل عندما يكون الحجم الذي ينبغي تجفيفه ٥ مليون قم مكعب أو أقل وتمتص رطوبة أقل من مواصفات خط الأنابيب عندما تكون درجة حرارة الغاز أعلى البئر أقل ويكون معدل الضغط أعلى. إذا كانت درجة حرارة المدخل الخاصة بالغاز مرتفعة جدًا، فيمكن للمجففات تكوين هيدرات تتكثف من المحلول وتؤدي إلى التخثر وتتسبب في مشكلات تتعلق بصرف المحلول الملحي. وبينما يكون بالإمكان تبريد الغاز الناتج أو ضغطه من أجل استخدام عوازل المياه التي تعمل بالمجففات، فإن هذه الإجراءات تعمل على زيادة تعقيد النظام وتعد باهظة التكلفة.

وعلى النقيض من ذلك، فإن عوازل المياه التي تعمل بالجليكول تعد خيارًا أفضل لمواقع الآبار ذات الإنتاج الأعلى وتعمل بشكل أفضل للغاز مرتفع الحرارة على أي ضغط. ولكن إذا كانت درجة حرارة الغاز الناتج منخفضة جدًا لعملية ثلاثي إيثيلين الجليكول، فسيحتاج المشغلون إلى تسخين الغاز قبل إدخاله إلى عازل المياه. وطالما أن تسخين الغاز يتطلب منتجات أكثر لحرقها كوقود، فإن هذه الحالات تعد مرشحات جيدة لعوازل المياه بالجليكول. يوضح الرسم التوضيحي ٣ أفضل أنظمة تجفيف الغاز في ظل ظروف التشغيل المختلفة.

الرسم التوضيحي ٣: ظروف التشغيل المثالية لتكنولوجيات عزل المياه

	الضغط المنخفض (<١٠٠ رطل لكل بوصة مربعة)	الضغط المرتفع (<١٠٠ رطل لكل بوصة مربعة)
درجة الحرارة المنخفضة (<٧٠ فهرنهايت)	المجفف/جليكول [١]	المجفف
درجة الحرارة المرتفعة (>٧٠ فهرنهايت)	جليكول	جليكول/المجفف [٢]

[١] قد يحتاج الغاز إلى التسخين لاستخدام عازل المياه الذي يعمل بالجليكول، أو قد يحتاج إلى الضغط لاستخدام عازل المياه الذي يعمل بالمجففات.
[٢] قد يحتاج الغاز إلى التبريد لاستخدام عازل المياه الذي يعمل بالمجففات.

الدروس المستفادة

الخطوة ٢: قم بتحديد سعة عازل المياه. تعد أول خطوة لتقدير حجم عازل المياه الذي يعمل بالمجففات هي تحديد محتوى رطوبة المدخل والمخرج الخاصة بالغاز. يعد ذلك ضروريًا لحساب كمية المجفف اللازمة ومنها يتم حساب حجم الوعاء. يستخدم المشغلون رسمًا بيانيًا لتوضيح محتوى بخار الماء في الغاز الطبيعي (يوضح الملحق (ب) مثالاً على ذلك) وجدول محتوى الرطوبة وبرنامج تحديد الحجم مثل برنامج تحديد الحجم السريع لشركة هانوفر (Hanover) الذي يمكنك الوصول إليه على موقع www.hanover-co.com/home/products/index.html وذلك من أجل تقدير محتوى المياه في مجرى الغاز. ولأجل هذا التحليل، فسوف نفترض تصميم عازل المياه لمعالجة مليون قدم مكعب/يوم بدرجة ٤٧ فهرنهايت ومعدل ضغط ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة. ولأجل هذا السيناريو، يسفر استخدام أي طريقة من هذه الطرق عن نفس النتائج- يحتوي مجرى الغاز الطبيعي على ٢١ رطل من المياه لكل مليون قدم مكعب.

من أجل الوفاء بمواصفة خط الأنابيب الخاصة بتحديد ٧ أرطال لكل مليون قدم مكعب، يجب أن يزيل مجفف كلوريد الكالسيوم ١٤ رطلاً من المياه لكل مليون قدم مكعب من الغاز. وبالنسبة لعازل المياه الذي يقوم بمعالجة مليون قدم مكعب وباستخدام القاعدة التجريبية لأحد الباعة التي توضح أن كل رطل من المجففات يزيل ٣ أرطال من المياه، سوف يتم حل ٤,٧ أرطال من كلوريد الكالسيوم في اليوم. يلخص الرسم التوضيحي (٤) هذا الحساب.

القاعدة التجريبية للبائع

يزيل الرطل من المجففات ثلاثة أرطال من الرطوبة من الغاز

في الخطوة التالية، يتم تحديد حجم الوعاء. يقدم الباعة أوعية عوازل المياه التي تعمل بالمجففات في أحجام قياسية وعادة ما يتم وضع المواصفات الخاصة بها بموجب القطر الخارجي والحد الأقصى من سعة الغاز الإنتاجية على ضغوط تشغيلية مختلفة. كما هو موضح في الرسم التوضيحي (٦) يتم تحديد أبعاد الحشية لتحقيق محتوى رطوبة الغاز المتوازن. يتضمن ذلك عمق حشية عاملة ذا حجم قياسي: ٥ بوصات بالنسبة لهذا البائع.

يمكن للشركاء اختيار حجم وعاء المجفف من جدول البائع أو حساب الحجم باستخدام المعادلات الموضحة في الرسم التوضيحي (٥). بالنسبة لمثال عازل المياه السابق الذي يعالج مليون قدم مكعب، يقدم الرسم التوضيحي (٥) وعاءً ذا قطر داخلي ١٦,٢ بوصة وقطر خارجي حوالي ١٧ بوصة مع سمك جدار ٣/٨ بوصة). لاستخدام الرسم التوضيحي (٦)، قم باتباع عمود ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة أقل من السعة الإنتاجية التي تعادل أو تزيد عن السعة اللازمة في هذا المثال: ١٣٤٤ مليون قدم مكعب (١٣٤٤ مليون قدم مكعب) يسفر اتباع هذا الصف إلى اليسار عن قطر خارجي ٢٠ بوصة.

الرسم التوضيحي ٤: تحديد الاستهلاك اليومي للمجفف	
حيث:	
D	= الاستهلاك اليومي للمجفف (رطل/يوم)
F	= معدل تدفق الغاز (مليون قدم مكعب/يوم)
I	= محتوى مياه المدخل (رطل/مليون قم مكعب)
O	= محتوى مياه المخرج (رطل/مليون قم مكعب)
B	= معدل المجفف إلى المياه (رطل مجفف/رطل مياه)
المعطيات :	
F	= ١ مليون قدم مكعب/يوم من غاز الإنتاج على ٤٧ درجة فهرنهايت و٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة
I	= ٢١ رطل ١ مليون قدم مكعب
O	= ٧ أرطال/مليون قدم مكعب (متطلبات الرطوبة الخاصة بخط الأنابيب)
P	= ١ رطل مجفف/٣ أرطال من المياه (القاعدة التجريبية للبائع)
الحساب :	
D	= B × (O-I) × F
	= ١ × ٢١ - ٧ × ١/٣
	= ٤,٧ رطل مجفف/يوم

الدروس المستفادة

الرسم التوضيحي ٥: تحديد حجم عازل المياه الذي يعمل بالمجففات
حيث:
ID = القطر الداخلي لوعاء المجفف (بوصة)
D = الاستهلاك اليومي للمجفف (رطل/يوم)
H = ارتفاع حشية الأملاح العاملة (بوصة)
T = الفترة الزمنية بين مرات إعادة الملء (أيام)
B = الكثافة الكلية (رطل/قدم مكعب)
المعطيات :
D = ٤,٧ (رطل/يوم) (الرسم التوضيحي ٤)
H = ٥ بوصات (قاعدة البائع التجريبية)
T = ٧ أيام (اختيار المشغل)
B = ٥٥ (رطل/قدم مكعب) (بيانات البائع)
الحساب :
$ID = ١٢ \times \sqrt{\frac{١٢ \times T \times D \times ٤}{B \times P \times H}}$
$= ١٢ \times \sqrt{\frac{١٢ \times ٧ \times ٤,٧ \times ٤}{٥٥ \times P \times ٥}}$
= ١٦,٢ بوصة
قم باختيار حجم وعاء قياسي من الرسم التوضيحي (٦)
• قم باختيار أكثر حجم تالي عن ID = ٢٠ بوصة

الرسم التوضيحي (٦): التكلفة والسعة الإنتاجية القصوى (ألف قدم مكعب) من عوازل المياه التي تعمل بالمجففات								
القطر الخارجي (بوصة)	التكلفة [١،٢] دولار	١٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٢٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٣٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٣٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	٤٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	٥٠٠ رطل لكل بوصة مربعة
١٠	٣٥٢٩	٩٥	١٧٧	٢٦٠	٣٠١	٣٤٢	٣٨٣	٤٢٤
١٢	٤٦٧٤	١٣٢	٢٤٧	٣٦٢	٤١٩	٤٧٦	٥٣٣	٥٩٠
١٦	٧٢٦٢	٢١٤	٤٠٠	٥٨٧	٦٨٠	٧٧٣	٨٦٦	٩٥٩
٢٠	٨٠٤٨	٣١١	٦٢٠	٩٠٩	١٠٥٤	١١٩٩	١٣٤٤	١٤٨٩
٢٤	١١٠١٤	٤٨١	٩٠٠	١٣١٩	١٥٢٨	١٧٣٨	١٩٤٨	٢١٥٨
٣٠	١٥٩١١	٧٦٠	١٤٢٢	٢٠٨٥	٢٤١٦	٢٧٤٧	٣٠٧٨	٣٤٠٩
٣٦	٢١٠٩٢	١١٩٦	٢٢٣٠	٣٢٧٠	٣٧٨٩	٤٣٠٨	٤٨٢٧	٥٣٤٦

[١] تكون التكاليف الرأسمالية لمعدلات الضغط التي تصل إلى ٥٠٠ رطل لكل بوصة مربعة بما في ذلك وعاء مع دعامات الوعاء والصمامات والأنابيب وجميع الملحقات والملء المبدئي لأقراص مجفف كلوريد الكالسيوم.
[٢] تشتمل تكلفة عازل المياه على جميع الملحقات: الوعاء، البنية المدعمة، الصمامات وخطوط الأنابيب.

الدروس المستفادة

الخطوة٣: قم بتقدير التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل. تتراوح التكاليف الرأسمالية لعوازل المياه التي تعمل بالمجففات ذات الوعاء الفردي والملائمة لمعدلات إنتاج الغاز من ٠,٠١ إلى ٥ مليون قدم مكعب في اليوم (بما في ذلك الملء الأولي للمجفف) بين ٣٥٠٠ دولار و٢١٠٠٠ دولار بعد تحديد حجم الوعاء اللازم (الخطوة ٢)، يمكن للشركاء استخدام الرسم التوضيحي (٦) لتحديد التكاليف الرأسمالية لعازل المياه الذي يعمل بالمجففات. وبالنسبة للمثال الموضح في الخطوة (٢)، تكون التكلفة المالية لعازل المياه الذي يعمل بالمجففات ذا الوعاء الفردي ٨٠٤٨ دولار. وبالنسبة لعازل المياه ذا الوعائين، قد تكون التكلفة ١٦٠٩٦ دولار.

مؤشر نيلسون (Nelson) للأسعار

من أجل تقدير التضخم في تكاليف تشغيل وصيانة المعدات، يتم استخدام مؤشرات نيلسون فارار للتكلفة ربع سنوية (المتاحة في العدد الأول الذي يتم إصداره بشكل ربع سنوي في *مجلة النفط والغاز*) وذلك من أجل تحديث التكاليف في الوثائق الخاصة بالدروس المستفادة.

يتم استخدام مؤشر عمليات التكرير من أجل مراجعة تكاليف التشغيل بينما يتم استخدام مؤشر الآلات: التكلفة المفصلة لتكرير النفط من أجل تحديث تكاليف المعدات.

من أجل استخدام تلك المؤشرات في المستقبل، ابحث ببساطة عن أحدث رقم لمؤشر نيلسون فارار ثم تتم قسمة هذا الرقم على رقم مؤشر نيلسون فارار في فبراير/شباط ٢٠٠٦ وفي النهاية يتم ضرب الناتج في التكاليف الملائمة المذكورة في الدروس المستفادة.

عادة ما تتراوح تكاليف التركيب بين ٥٠ و٧٥% من تكلفة المعدات وباستخدام عامل تركيب ٧٥% من تكلفة المعدات، سوف تكون تكلفة تركيب عازل المياه الذي يعمل بالمجففات ذا الوعاء الفردي سالف الذكر ٦٠٣٦ دولار. وقد يتكلف تركيب عازل المياه ذا الوعائين ١٢٠٧٢ دولار.

تشتمل التكلفة التشغيلية لاستخدام عازل المياه الذي يعمل بالمجففات على تكاليف استبدال المجفف والتخلص من المحلول الملحي. ولأن أقراص المجفف تنحل عند إزالتها للرطوبة من الغاز، ستكون هناك حاجة دورية إلى إعادة ملء حشية الملح العاملة. وعلاوة على ذلك، تكون هناك حاجة أيضًا إلى إزالة المحلول الملحي الناتج ومعالجته أو التخلص منه.

يوضح الرسم التوضيحي (٧) حسابات التكلفة التشغيلية للمثال الخاص بعازل المياه الذي يعالج مليون قدم مكعب من الغاز. وبناء على معلومات البائع، يمكن أن تتراوح تكلفة كلوريد الكالسيوم بين ٠,٠٨٠ دولار و١,٤٩ دولار لكل رطل. باستخدام ١,٤٩ دولار لكل رطل كتكلفة لكلوريد الكالسيوم، تكون التكلفة الإجمالية لإعادة ملء ٤,٧ أرطال في اليوم (من الرسم التوضيحي ٤) ٢٥٥٦ دولار في العام. في المثال الموضح في الرسم التوضيحي ٤، يتم إنتاج قليل جدًا من محلول الملح مع إزالة الرطوبة من الغاز لتحقيق مواصفة الرطوبة المطلوبة لخط الأنابيب (بواقع ٧ أرطال لكل مليون قدم مكعب أو ١٨,٧ أرطال من محلول الملح في اليوم ما يزيد قليلاً على جالونين في اليوم.

الرسم التوضيحي ٧: قم بتحديد التكلفة التشغيلية لعازل المياه الذي يعمل بالمجففات

حيث:

TO = إجمالي التكلفة التشغيلية (دولار/عام)
CD = تكلفة المجفف (دولار/عام)
CB = تكلفة التخلص من المحلول الملحي (دولار/عام)
I = محتوى مياه المدخل (رطل/مليون قدم مكعب)
O = محتوى مياه المخرج (رطل/مليون قدم مكعب)
F = معدل تدفق الغاز (مليون قدم مكعب/يوم)
P = سعر المجفف (دولار/رطل)
D = الاستهلاك اليومي للمجفف (رطل/يوم)
S = كثافة محلول كلوريد الكالسيوم الملحي (رطل/برميل)
BD = تكلفة التخلص من المحلول الملحي (دولار/برميل)
LC = تكلفة العمالة (دولار)
LT = وقت العمل اللازم للمشغل لإعادة الملء بالمجفف (ساعة)
LR = أجر العمل للمشغل (دولار/ساعة)

المعطيات :

F = ١ مليون قدم مكعب/يوم من غاز الإنتاج على ٤٧ درجة فهرنهايت و ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة
P = ١,٤٩ دولار/رطل من كلوريد الكالسيوم (بيانات البائع)
D = ٤,٧ أرطال مجفف/يوم (رسم توضيحي ٤)
S = ٤٩٠ رطل/برميل
BD = ١,٤٠ دولار/برميل (١)
LT = ١ ساعة/أسبوع
LR = ٤٠ دولار/ساعة

الحساب :

CD = P × D × ٣٦٥ يوم/عام
= ٤,٧ × ١,٤٩ × ٣٦٥
= ٢٥٥٦ دولار/عام

$$CB = \frac{[D+(F * (O-I))] * BD * ٣٦٥ \text{ يوم/عام}}{S}$$

$$= \frac{[(٧-٢١)) * ١)] * ٤,٧ * ٣٦٥}{٤٩٠}$$

= ٢٠ دولار/عام

LC = LT × LR × ٥٢ أسبوع/عام
= ١ × ٤٠ × ٥٢
= ٢٠٨٠ دولار/عام

TO = CD + CB + LC
= ٢٥٥٦ دولار + ٢٠ دولار + ٢٠٨٠ دولار
= ٤,٦٥٦ دولار/عام

[1] *المصور الجغرافي لمعهد أبحاث الغاز للمياه الناتجة فيما يتعلق بالغاز لعام ١٩٩٠، مايو/أيار ١٩٩٥، تم التحديث إلى تكاليف ٢٠٠٦.*

الدروس المستفادة

الخطوة ٤: قم بتقدير الفوائض. يعمل استبدال عازل المياه الذي يعمل بالجليكول بعازل المياه الذي يعمل بالمجففات على توفير الغاز وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة.

تحديد صافي فوائض الغاز

يمكن تحديد قدر الغاز الذي يتم ادخاره عن طريق مقارنة انبعاثات واستخدام الغاز في عازل المياه الحالي الذي يستخدم الجليكول بالغاز الخارج من عازل المياه الذي يعمل بالمجففات. يمكن للشركاء تحديد فوائض الغاز عن طريق تحديد العوامل الخمسة التالية:

★ **قم بتقدير الغاز الخارج من عازل المياه الذي يعمل بالجليكول-** تعادل كمية الغاز الخارج من وحدة إعادة توليد/وحدة إعادة غليان الجليكول الغاز المحمل في ثلاثي إيثيلين الجليكول. ومن أجل تحديد ذلك، سوف يحتاج الشركاء إلى تحديد معدل تدفق الغاز ومحتوى مياه المدخل والمخرج ومعدل الجليكول إلى المياه ونسبة التدوير الزائد ومعدل تحميل الميثان.

تحديد صافي فوائض الغاز

تتم إضافة الفوائض عن طريق تقليل:

- الغاز الخارج من عازل المياه الذي يعمل بالجليكول.
- الغاز الخارج من أجهزة التحكم الهوائية.
- الغاز الذي يتم حرقه كوقود في وحدة إعادة غليان الجليكول.
- الغاز الذي يتم حرقه كوقود في سخان الغاز.

مع طرح

- الغاز الخارج من عازل المياه الذي يعمل بالمجففات

الرسم التوضيحي ٨: الغاز الخارج من عازل المياه الذي يعمل بالجليكول

حيث:

GV	= كمية الغاز الخارج سنويًا (ألف قدم مكعب/عام)
F	= معدل تدفق الغاز (مليون قدم مكعب/يوم)
W	= محتوى مياه المدخل- المخرج (رطل/مليون قدم مكعب)
R	= معدل الجليكول إلى المياه (جالون/رطل)
OC	= نسبة التدوير الزائد
G	= معدل تحميل الميثان (قدم مكعب/جالون)[١]

المعطيات :

F	= ١ مليون قدم مكعب من الغاز على ٤٧ درجة فهرنهايت و ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة
W	= ٢١ – ٧ = ١٤ رطل مياه/مليون قدم مكعب (الرسم التوضيحي ٤)
R	= ٣ جالونات/رطل (قاعدة تجريبية)[١]
G	= ٣ أقدام مكعبة/جالون لمضخات تبادل الطاقة (قاعة تجريبية)[١]
OC	= ١٥٠%

الحساب :

$$CD = \frac{[F * W * R * OC * G * ٣٦٥ \text{ يوم/عام}}{١٠٠٠ \text{ قدم مكعب/ألف قدم مكعب}}$$

$$= \frac{١ * ١٤ * ٣ * ١,٥ * ٣ * ٣٦٥}{١٠٠٠}$$

= ٦٩ دولار/عام

[١] من *الدروس المستفادة* لهيئة الحماية البيئية *"قم بتحسين تدوير الجليكول وتركيب فواصل الخزان الفجائي في عوازل المياه التي تعمل بالجليكول"*.

الدروس المستفادة

يوضح الرسم التوضيحي ٨ هذا الحساب للمثال الخاص بعازل المياه الذي يعالج مليون قدم مكعب. في هذا المثال، يتم افتراض استخدام مضخة تبادل الطاقة دون فاصل للخزان الفجائي. بالاعتماد على قاعدة تجريبية من الدروس المستفادة لهيئة الحماية البيئية: *قم بتحسين تدوير الجليكول وتركيب فواصل الخزان الفجائي في عوازل المياه التي تعمل بالجليكول*. يتم حساب انبعاثات غاز الميثان لـ ٦٩ ألف قدم مكعب في العام.

قم بتقدير الغاز الخارج من أجهزة التحكم الهوائية. يتم استخدام أجهزة التحكم الهوائية بوجه عام لمراقبة وتنظيم تدفقات الغاز والسائل ودرجة الحرارة والضغط في وحدات عزل المياه التي تعمل بالجليكول. وعلى وجه التحديد، تقوم أجهزة التحكم بتنظيم تدفقات الغاز والسائل في عوازل المياه والفواصل ودرجة الحرارة في وحدات إعادة توليد عازل المياه والضغط في الخزانات الفجائية (عند استخدامها). في هذا المثال، يفترض كون وحدة عازل المياه الذي يعمل بالجليكول مع سخان الغاز لديها أربع أجهزة تحكم هوائية تعاني من التسرب وأجهزة تحكم في المستوى على الموصل ووحدة إعادة الغليان وأجهزة تحكم في درجة الحرارة على وحدة إعادة الغليان وسخان الغاز. لا تشتمل الوحدة على فاصل الخزان الفجائي. من المفترض أيضًا كون الأجهزة الهوائية أجهزة تعاني من مستوى تسرب مرتفع (حيث يعادل معدل تسربها ٥٠ ألف قدم مكعب من الغاز سنويًا أثناء التشغيل). وبناء على دراسة معهد أبحاث الغاز/هيئة الحماية البيئية، "انبعاثات الميثان من صناعة الغاز الطبيعي، الإصدار ١٢- الإجهزة الهوائية، يتم تقدير عامل الانبعاث السنوي لأحد الأجهزة الهوائية ذا معدل التسريب المرتفع بـ ١٢٦ ألف قدم مكعب في العام. وعليه سوف تساهم الأجهزة الهوائية الأربعة بـ ٥٠٤ ألف قدم مكعب من انبعاثات الميثان سنويًا. يلخص الرسم التوضيحي (٩) هذا المثال.

الرسم التوضيحي ٩: الغاز الخارج من أجهزة التحكم الهوائية	
حيث:	
GB	= تسريب الغاز (ألف قدم مكعب/عام)
EF	= عامل الانبعاث (تسريب الغاز الطبيعي ألف قدم مكعب/الجهاز الهوائي في العام)
PD	= عدد الأجهزة الهوائية
المعطيات :	
EF	= ١٢٦ ألف قدم مكعب/جهاز/عام
PD	= ٤ أجهزة هوائية/عوازل المياه بالجليكول
الحساب :	
GB	= PD × EF
	= ٤ × ١٢٦
	= ٥٠٤ رطل مجفف/يوم
[1] دراسة معهد أبحاث الغاز/هيئة الحماية البيئية، *انبعاثات الميثان من صناعة الغاز الطبيعي*، الإصدار ١٢	

★ **قم بتقدير الغاز الذي يتم حرقه للوقود في وحدة إعادة غليان الجليكول-** يستخدم عازل المياه الذي يعمل بالجليكول الغاز الطبيعي في وحدة إعادة الغليان/وحدة إعادة التوليد لغلي المياه من الجليكول الغني. وبافتراض كون كمية الحرارة اللازمة لوحدة إعادة الغليان هي ١,١٢٤ وحدة حرارية بريطانية لكل جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول، يكون الغاز المستخدم في وحدة إعادة الغليان ١٧ ألف قدم مكعب في العام. يلخص الرسم التوضيحي (١٠) هذا الحساب.

الرسم التوضيحي ١٠: الغاز الذي يتم حرقه للوقود في وحدة إعادة غليان الجليكول	
حيث:	
FGR	= غاز الوقود لوحدة إعادة الغليان (ألف قدم مكعب/عام)
F	= معدل تدفق الغاز (مليون قدم مكعب)
W	= محتوى مياه المدخل/المخرج (رطل/مليون قدم مكعب)
Qr	= الحرارة اللازمة لوحدة إعادة الغليان (وحدة حرارية بريطانية/جالون ثلاثي إيثيلين الجليكول)[١]
Hv	= قيمة التسخين الخاصة بالغاز الطبيعي (وحدة حرارية بريطانية/قدم مكعب قياسي)[٢]
R	= معدل الجليكول إلى المياه (جالون ثلاثي إيثيلين الجليكول/رطل مياه)[٣]
المعطيات :	
F	= مليون قدم مكعب
W	= ٢١ – ٧ = ١٤ رطل مياه/مليون قدم مكعب
Qr	= ١١٢٤ وحدة حرارية بريطانية/جالون ثلاثي إيثيلين الجليكول
Hv	= ١٠٢٧ وحدة حرارية بريطانية/قدم مكعب قياسي
R	= ٣ جالون ثلاثي إيثيلين الجليكول/رطل مياه تمت إزالتها
الحساب :	
FGR	= [F * W * Qr * R * ٣٦٥ يوم/عام] / [Hv * ١٠٠٠ قدم مكعب/ألف قدم مكعب]
	= [١ * ١٤ * ١١٢٤ * ٣ * ٣٦٥] / [١٠٢٧ * ١٠٠٠]
	= ١٧ ألف قدم مكعب/عام

[١] بناء على الحساب في كتاب البيانات الهندسية، الإصدار ٢، الطبعة الحادية عشر، جمعية إمداد معالجي الغاز، ١٩٩٨، قسم ٢٠ عازل مياه.
[٢] إدارة معلومات الطاقة، والمراجعة الهندسية الشهرية، الجدول أ٤.
[٣] من الدروس المستفادة لهيئة الحماية البيئية: قم بتحسين تدوير الجليكول وتركيب فواصل الخزان الفجائي في عوازل المياه بالجليكول.

★ **قم بتقدير الغاز الذي يتم إحراقه للوقود في سخان الغاز-** لا يعمل ثلاثي إيثيلين الجليكول بشكل جيد على الغاز منخفض الحرارة ونتيجة لذلك، يتم عادة تسخين الغاز قبل إدخاله إلى وحدة عازل المياه. يتم استخدام الغاز الطبيعي كوقود لسخان الغاز. تكون كمية غاز الوقود المستخدمة لتسخين المليون قدم مكعب من الغاز الناتج من ٤٧ إلى ٩٠ درجة فهرنهايت (افتراضيًا) هي ٤٨٣ ألف قدم مكعب في العام. يوضح الرسم التوضيحي ١١ هذا الحساب.

★ **قم بتقدير خسائر الغاز من عازل المياه الذي يعمل بالمجففات-** يتم تحديد خسائر الغاز من عازل المياه الذي يعمل بالمجففات عن طريق حساب كمية الغاز الخارج من الوعاء في كل مرة يتم فيها إزالة الضغط منها لإجراء عملية إعادة الملء. من أجل تحديد حجم الغاز الذي يتم إخراجه، سوف يحتاج الشركاء إلى تحديد حجم وعاء عازل المياه والنسبة التي يشغلها الغاز من هذا الحجم. قد يشتمل وعاء OD الذي يصل قطره ٢٠ بوصة الموضح في الرسم التوضيحي (٦) على ١٩,٥ بوصة ID تقريبًا (بافتراض سمك الجدار ٣/٨ بوصة). يكون الطول الكلي للوعاء ٧٦,٧٥ بوصة ويتم ملء ٤٥% من حجم بالغاز. باستخدام قانون "بولي" "Bolye's Law"، تكون كمية الغاز المنفس إلى الجو أثناء إزالة ضغط الوعاء (١٠) آلاف قدم مكعب في العام. يلخص الرسم التوضيحي (١٢) ذلك الحساب.

الرسم التوضيحي ١١: كمية غاز الوقود المستخدم لتسخين الغاز	
حيث:	
FGH	= غاز الوقود المستخدم في السخان (ألف قدم مكعب/عام)
Hv	= قيمة تسخين الغاز الطبيعي (وحدة حرارية/قم مكعب)
Cv	= الحرارة الخاصة بالغاز الطبيعي (وحدة حرارية فهرنهايت/رطل)
D	= كثافة الغاز الطبيعي (رطل/قدم مكعب)
DT	= (T1-T2) تغيير درجة الحرارة (فهرنهايت)
F	= معدل التدفق (مليون قدم مكعب/d)
E	= الفعالية
المعطيات :	
Hv	= ١٠٢٧ وحدة حرارية/قدم مكعب
Cv	= ٠,٤٤١ وحدة حرارية/رطل فهرنهايت
D	= ٠,٠٥٠٢ رطل/قدم مكعب
DT	= ٤٣ درجة فهرنهايت (٩٠-٤٧) فهرنهايت)
F	= (١) مليون قدم مكعب/يوميًا
E	= ٧٠%
الحساب :	
FGH	= (F * D * Cv * DT * ٣٦٥ يوم/عام * ١٠٠٠ قدم مكعب/مليون قدم مكعب) / (E * Hv)
	= (١ * ٠,٠٥٠٢ * ٠,٤٤١ * ٤٣ * ٣٦٥ * ١٠٠٠) / (٠,٧ * ١٠٢٧)
	= ٤٨٣ ألف قدم مكعب/عام

★ **قم بتقدير إجمالي فوائض الغاز-** يعد إجمالي فوائض الغاز هو إجمالي الانبعاثات المتجنبة واستخدام عازل المياه الذي يعمل بالجليكول مع طرح الغاز المفقود الذي يخرج من عازل المياه الذي يعمل بالمجففات عند استبدال المجفف. في هذا المثال، بلغ إجمالي فوائض الغاز ١٠٦٣ ألف قم مكعب في العام. باستخدام سعر الغاز ٧,٠٠ دولارات لكل ألف قدم مكعب، ستبلغ قيمة الغاز المدخر ٧٤٤١ دولار كل عام. يشتمل الغاز الطبيعي غير المرتبط على نسبة ٧٨,٨% من الميثان. وعليه، فإن إجمالي فوائض انبعاثات الميثان هو ٧٨,٨% من الفرق بين الغاز الخارج من عازل المياه الذي يعمل بالجليكول وأجهزة التحكم الهوائية الخاصة به (الرسومات التوضيحية ٨ و٩ على التوالي) وعازل المياه الذي يعمل بالمجففات (الرسم التوضيحي ١٢) في هذه الحالة ٥٠٧ ألف قدم مكعب في العام. يلخص الرسم التوضيحي ١٣ هذا المثال).

محتوى غاز الميثان في الغاز الطبيعي

يحتوي الغاز الطبيعي غير المرتبط الموجود في قطاع الانتاج على نسبة ٧٨,٨% تقريبًا من الميثان. يمكن تقريب التخفيضات في معدلات انبعاث غاز الميثان عن طريق مقارنة محتوى الميثان في لغاز الطبيعي الذي يتم انتاجه بفوائض الغاز الطبيعي التي يتم حسابها في هذه الوثيقة .

الرسم التوضيحي ١٢: الغاز المفقود من عازل المياه الذي يعمل بالمجففات
حيث:
GLD = خسائر الغاز من عازل المياه الذي يعمل بالمجففات (قدم مكعب قياسي/عام) H = ارتفاع وعاء عازل المياه (قدم مكعب) D = القطر الداخلي للوعاء (قدم مكعب) P_1 = الضغط الجوي (رطل لكل بوصة مربعة) P_2 = ضغط الغاز (رطل لكل بوصة مربعة) P = Pi %G = نسبة حجم الوعاء المعبأ بالغاز T = الفترة الزمنية بين مرات إعادة الملء (أيام)
المعطيات :
H = ٧٦,٧٥ بوصة (٦,٤٠ قدم مكعب)[١] D = ١٩,٢٥ بوصة (١,٦ قدم مكعب) P_1 = ١٤,٧ رطل لكل بوصة مربعة P_2 = ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة + ١٤,٧ (٤٦٤,٧ رطل لكل بوصة مربعة) P = ٣,١٤% %G = ٤٥% (قاعدة البائع التجريبية)[١] T = ٧ أيام
الحساب :
$GLD = \frac{(H * D^2 * P * P_2 * \%G * ٣٦٥ \text{ يوم/عام})}{(٤ * P_1 * T * ١٠٠٠ \text{ قدم مكعب/ألف قدم مكعب})}$ $= \frac{(٣٦٥ * ٠,٤٥ * ٤٦٤,٧ * ٣,١٤ * ١,٦^{٢} * ٤,٦)}{١٠٠٠ * ٧ * ١٤,٧ * ٤}$ = ١٠ آلاف قدم مكعب/عام
[١] بناء على بيانات المنتج التي قدمتها شركة فان إير.

الرسم التوضيحي ١٣: إجمالي فوائض الغاز
حيث:
TGS = إجمالي فوائض الغاز (ألف قدم مكعب/عام) = الرسم التوضيحي ٨ + الرسم التوضيحي ٩ + الرسم التوضيحي ١٠ + الرسم التوضيحي ١١ - الرسم التوضيحي ١٢ = ٩٦ + ٥٠٤ + ١٧ + ٤٨٣ - ١٠ = ١٠٦٣ ألف قدم مكعب/عام
الفوائض = ١٠٦٣ ألف قدم مكعب/عام × ٧ دولار/ألف قدم مكعب = ٧٤٤١ دولار/عام
المعطيات :
TMER = إجمالي تخفيضات انبعاثات الميثان = ٧٨,٨% (الرسم التوضيحي ٨ + الرسم التوضيحي ٩ - الرسم التوضيحي ١٢)
TMER = ٠,٧٨٨ × (٦٩ + ٥٠٤ - ١٠) = ٤٤٤ ألف قدم مكعب/عام

تحديد فوائض تكاليف التشغيل والصيانة

تتضمن الفوائض الأخرى الفرق بين تكلفة التشغيل والصيانة (تكلفة العمالة) لعازل المياه الذي يعمل بالجليكول وعازل المياه الذي يعمل بالمجففات.

تشمل تكلفة تشغيل عازل المياه الذي يعمل بالمجففات على تكلفة إعادة ملء المجفف والتخلص من المحلول الملحي وتكاليف العمالة. وطالما أن عازل المياه الذي يعمل بالمجففات لا يشتمل على أجزاء متحركة ولا يحتاج إلى الطاقة، فإن تكاليف الصيانة تكاد لا تذكر. تكون تكاليف إعادة الملء والتخلص من المحلول الملحي والتي تم حسابها مسبقًا في الرسم التوضيحي (٧) هي ٢٥٥٦ دولار و٢٠ دولار في العام على التوالي. تفترض تكاليف العمالة حاجة المشغل إلى ساعة واحدة في الأسبوع لإعادة ملء عازل المياه الذي يعمل بالمجفف. وبحساب ٤٠ دولار للساعة، قد يتكلف ذلك ٢٠٨٠ دولار في العام .

تتضمن تكاليف التشغيل الخاصة بعازل المياه الذي يعمل بالجليكول تكلفة استكمال ملء حوض الجليكول للحفاظ على مستويات الجليكول. وتتضمن تكاليف الصيانة والعمالة فحص وتنظيف الأنظمة الميكانيكية واستبدال مضخة التدوير وأجهزة التحكم الهوائية على أساس دوري، والتنظيف السنوي لأنابيب الحريق لوحدة إعادة الغليان وسخان الغاز. تبلغ تكلفة الجالون من الجليكول ٥,٥٧ دولار ويكون المعدل المعتاد ٠,١ جالون لكل مليون قدم مكعب من الغاز الذي تمت معالجته. وبالنسبة لهذا المثال، فإن ذلك يعادل ٣٧ جالونًا من الجليكول في العام أو ٢٠٦ دولار في العام. تفترض تكاليف العمالة قضاء المشغلون معدل ساعتين في الأسبوع لصيانة وإصلاح الوحدة. وبحساب ٤٠ دولار للساعة، يعادل ذلك ٤١٦٠ دولار في العام. يتم تقدير تكاليف قطع الغيار على أنها تعادل نصف تكاليف العمالة أو ٢٠٨٠ دولار في العام. وبناء على ذلك، يكون إجمالي تكاليف التشغيل والصيانة والعمال لهذا المثال الخاص بنظام عازل المياه الذي يعمل بالجليكول ٦٤٤٦ دولار في العام.

الخطوة ٥: قم بإجراء التحليل الاقتصادي. تعد الخطوة النهائية هي مقارنة تكاليف التطبيق والتشغيل والصيانة السنوية لكل خيار وقيمة الغاز الذي يتم ادخاره أو استخدامه/فقده من قبل كل وحدة. يقدم الرسم التوضيحي ١٤ مقارنة لتكاليف التطبيق والتشغيل والصيانة لعازل المياه الذي يعمل بالمجففات وعازل المياه الذي يعمل بالجليكول (مع عزل المياه من ١ مليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي بضغط ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة ودرجة حرارة ٤٧ درجة فهرنهايت) يقارن الرسم التوضيحي (١٥) كمية وقيمة الغاز المستخدم والمفقود من قبل كل نظام.

يوضح الرسم التوضيحي (١٦) الفوائض التي قد يتوقعها أحد شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي على مدار فترة خمس سنوات من استبدال عازل المياه الذي يعمل بالجليكول لعزل مليون قدم مكعب على ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة من الغاز الذي تكون درجة حرارته ٤٧ درجة فهرنهايت بعازل مياه يعمل بالمجففات.

الرسم التوضيحي ١٤: مقارنة تكاليف عازل المياه الذي يعمل بالمجففات وعازل المياه الذي يعمل بالجليكول

١ مليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي على ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة ودرجة حرارة ٤٧ فهرنهايت

نوع التكاليف والفوائض	المجفف (دولار/عام)	الجليكول (دولار/عام)
تكاليف التطبيق		
والتكاليف الرأسمالية المجفف [١] (بما في ذلك الملء الأولي) الجليكول تكاليف أخرى (التركيب والهندسة)[٢]	١٦٠٩٧ ١٢٠٧٣	 ٢٤٧٦٤ ١٨٥٧٣
إجمالي تكاليف التطبيق	٢٨١٦٩	٤٣٣٣٧
إجمالي تكاليف التشغيل والصيانة السنوية		
المجفف تكلفة إعادة ملء المجفف [٣] (١,٢٠ دولار/رطل) تكلفة التخلص من المحلول الملحي[٣] تكلفة العمالة [٤] الجليكول تكلفة وإعادة ملء الجليكول[٤] (٥,٥٧ دولار/جالون) تكلفة المواد والعمالة [٤]	٢٥٥٦ ٢٠ ٢٠٨٠	 ٢٠٦ ٦٢٤٠
إجمالي تكاليف التشغيل والصيانة السنوية	٤٦٥٦	٦٤٤٦

[١] بناء على وعائين للمجفف يتم استخدامها بالتبادل (انظر الرسم التوضيحي ٥).
[٢] بافتراض أن تكاليف التركيب تعادل ٧٥% من تكاليف المعدات.
[٣] تم الحصول على القيم من الرسم التوضيحي (٧).
[٤] انظر الخطوة ٤: قم بتقدير الفوائض.

الدروس المستفادة

الرسم التوضيحي ١٥: مقارنة استخدام خسارة وقيمة الغاز				
١ مليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي على ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة و٤٧ درجة فهرنهايت				
نوع الخسارة/الاستخدام	**المجفف**		**الجليكول**	
	ألف قدم مكعب/عام	**دولار/عام [١]**	**ألف قدم مكعب/عام**	**دولار/عام [١]**
استخدام الغاز				
الوقود (الرسم التوضيحي ١٠ والرسم التوضيحي ١١)	—	—	٥٠٠	٣٥٠٠
خسارة الغاز				
الأجهزة الهوائية (الرسم التوضيحي٩) التصريفات (الرسم التوضيحي ٨ والرسم التوضيحي ١٢)	— ١٠	— ٧٠	٥٠٤ ٦٩	٣٥٢٨ ٤٨٣
الإجمالي: انبعاثات الميثان[٢]:	١٠ ٨	٧٠ —	١٠٧٣ ٤٥٢	٧٥١١ —
[١] بناء على سعر الغاز البالغ ٧ دولارات/ألف قدم مكعب. [٢] تم الحصول على القيم من الرسم التوضيحي ١٢ والرسم التوضيحي ١٣.				

الرسم التوضيحي ١٦: المزايا الاقتصادية لاستبدال نظام عزل المياه باستخدام الجليكول مع نظام عازل المياه باستخدام المجففات والذي يتكون من وعائين						
	العام صفر دولار/عام	**العام الأول دولار/عام**	**العام الثاني دولار/عام**	**العام الثالث دولار/عام**	**العام الرابع دولار/عام**	**العام الخامس دولار/عام**
التكاليف الرأسمالية	(٢٨١٦٩)					
تكاليف التشغيل والصيانة المتجنبة		٦٤٤٦	٦٤٤٦	٦٤٤٦	٦٤٤٦	٦٤٤٦
تكاليف التشغيل والصيانة- المجفف (دولار/عام)		(٤٦٥٦)	(٤٦٥٦)	(٤٦٥٦)	(٤٦٥٦)	(٤٦٥٦)
قيمة فائض الغاز		٧٤٤١	٧٤٤١	٧٤٤١	٧٤٤١	٧٤٤١
قيمة فائض المعدات	٢١٢٣٨٢					
الإجمالي (دولار)	(١٥٧٨٧)	٩٢٣٢	٩٢٣٢	٩٢٣٢	٩٢٣٢	٩٢٣٢
صافي القيمة الحالية (٣ = ١٩,٢٠٨ دولار) معدل العائد الداخلي (٤) = ٥١% فترة العائد (شهور) = ٢١						
[١] تم الحصول على جميع قيمة التكاليف من الرسومات التوضيحية (١٤) و(١٥). يفترض كون سعر الغاز ٧ دولارات/قدم مكعب. [٢] بناء على ٥٠% من نسبة التكلفة الرأسمالية لعازل المياه الذي يستخدم الجليكول. [٣] يتم حساب صافي القيمة الحالية بناء على معدل خصم ١٠% على مدار ٥ سنوات. [٤] يتم حساب معدل العائد الداخلي على مدار خمس سنوات.						

الدروس المستفادة

عند التفكير في استبدال عوازل المياه التي تستخدم الجليكول بعوازل المياه التي تستخدم المجففات، قد يؤثر سعر الغاز الطبيعي على عملية اتخاذ القرار. يوضح الرسم التوضيحي ١٧ تحليلاً اقتصاديًا لتركيب عازل مياه يعمل بالمجففات لمعالجة ١ مليون قدم مكعب على ٤٥٠ رطل لكل بوصة مربعة و٤٧ درجة فهرنهايت بأسعار الغاز المختلفة.

الرسم التوضيحي١٧: أثر سعر الغاز على التحليل الاقتصادي					
	٣ دولارات / ألف قدم مكعب	٥ دولارات / ألف قدم مكعب	٧ دولارات / ألف قدم مكعب	٨ دولارات / ألف قدم مكعب	١٠ دولارات / ألف قدم مكعب
قيمة الغاز المدخر	٣١٨٩ دولار	٥٣١٥ دولار	٧٤٤١ دولار	٨٥٠٤ دولار	١٠٦٣٠ دولار
فترة تعويض تكلفة المشروع (بالأشهر)	٣٩	٢٧	٢١	١٩	١٦
المعدل الداخلي للعائد (IRR)	%١٧	%٣٥	%٥١	%٥٩	%٧٤
صافي القيمة الحالية =١٠%	٣٠٨٩ دولار	١٩٠٢٨ دولار	١٩٢٠٨ دولار	٨٥٠٤ دولار	٣١٢٩٦ دولار

الدروس المستفادة

يمكن أن تعمل عوازل المياه التي تستخدم المجففات بفعالية للتكلفة على خفض معدلات انبعاث غاز الميثان الناتجة عن عزل المياه من الغاز. تعرض تجربة الشركاء الدروس المستفادة التالية:

- يمكن أن تقدم عوازل المياه التي تستخدم المجففات مزايا اقتصادية كبرى مثل زيادة الفعالية التشغيلية وتقليل التكاليف المالية وتكاليف الصيانة للغاز ذا معدل التدفق المنخفض في ظروف الضغوط المرتفعة ودرجات الحرارة المنخفضة.
- تكون تكلفة الاستبدال أعلى قليلاً من الجليكول حيث تنحل المجففات في المياه ويجب استبدالها بشكل منتظم، بينما يتم إعادة تدوير الجليكول.
- تعد عوازل المياه التي تستخدم المجففات طريقة فعال لخفض معدلات انبعاث غاز الميثان والمركبات العضوية المتطايرة وملوثات الهواء الضارة مما يؤدي إلى جني مزايا اقتصادية وبيئية.
- اذكر التخفيض في انبعاثات الميثان الناتج عن استبدال عوازل المياه التي تعمل بالجليكول بعوازل المياه التي تعمل بالمجففات في التقارير السنوية لبرنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي.

الدروس المستفادة

المراجع

أكور= لوري جي وديفيد ميردادیان-*مزايا استخدام المجففات المذابة لعزل المياه عن الغاز*. جمعية مهندسي البترول. (SPE82138)، ٢٠٠٣.

بومان، بوب، *مزايا استخدام المجففات المذابة لعزل المياه عن الغاز*. جمعية مهندسي البترول (SPE60170) ٢٠٠٠.

شركة دو كيميكال، المؤلفات الخاصة بالمنتج. *عزل المياه من الغاز باستخدام كلوريد الكالسيوم PELA DOW DG*.

إدارة معلومات الطاقة. *مراجعة الطاقة الشهرية*، ٢٠٠٢، جدول أ٤.

إسكريج، تشارلز. شركة إير آند فيكام بروسيس (فان إير)، الاتصال الشخصي.

جمعية إمداد معالجي الغاز، ١٩٨، القسم ٢٠- عزل المياه.

معهد أبحاث الغاز. *المصدر الجغرافي للمياه التي تم إنتاجها عام ١٩٩٠* . (GRI-95/0016)، مايو، ١٩٩٥.

معهد أبحاث الغاز "*انبعاثات الميثان من صناعة الغاز الطبيعي*، ١٩٩٦، إصدار ١٢ (GRI-94/0257.29)، يونيو/حزيران ١٩٩٦.

موراي، كيرت. *الطرائق العملية لتجفيف الغاز الطبيعي*. شركة برايد أوف ذا هليز إم إف جي.

موراي كيرت. شركة برايد أف ذا هيلز إم إف جي، الاتصال الشخصي.

سميث، ريد، بي بي، اتصال شخصي.

شركة ذا هانوفر كومبريسور، اتصال شخصي.

تينجلي، كيفن، برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي التابع لهيئة- الحماية البيئية الأمريكية، اتصال شخصي.

هيئة الحماية البيئية الأمريكية. *الدروس المستفادة. قم بتحسين تدوير الجليكول وتركيب فواصل الخزان الفجائي في عوازل المياه التي تعمل بالجليكول*. (EPA430B-03-013، مايو/أيار ٢٠٠٣)

هيئة الحماية البيئية الأمريكية، *الدروس المستفادة: استبدال مضخات الجليكول المدعومة بالغاز بمضخات كهربائية* (EPA430B-03-014، مايو/أيار ٢٠٠٣).

فافرو، ماثيو إي، *تقليل تكاليف عزل المياه من الغاز الطبيعي من خلال الاختيار المناسب لمجففات الحشية الجافة واستخدام تكنولوجيا المجفف الجديدة*. جمعية مهندسي البترول. (SPE37348)، ١٩٩٦.

زافاديل، دوين، ويليامز برودكشن اتصال شخصي.

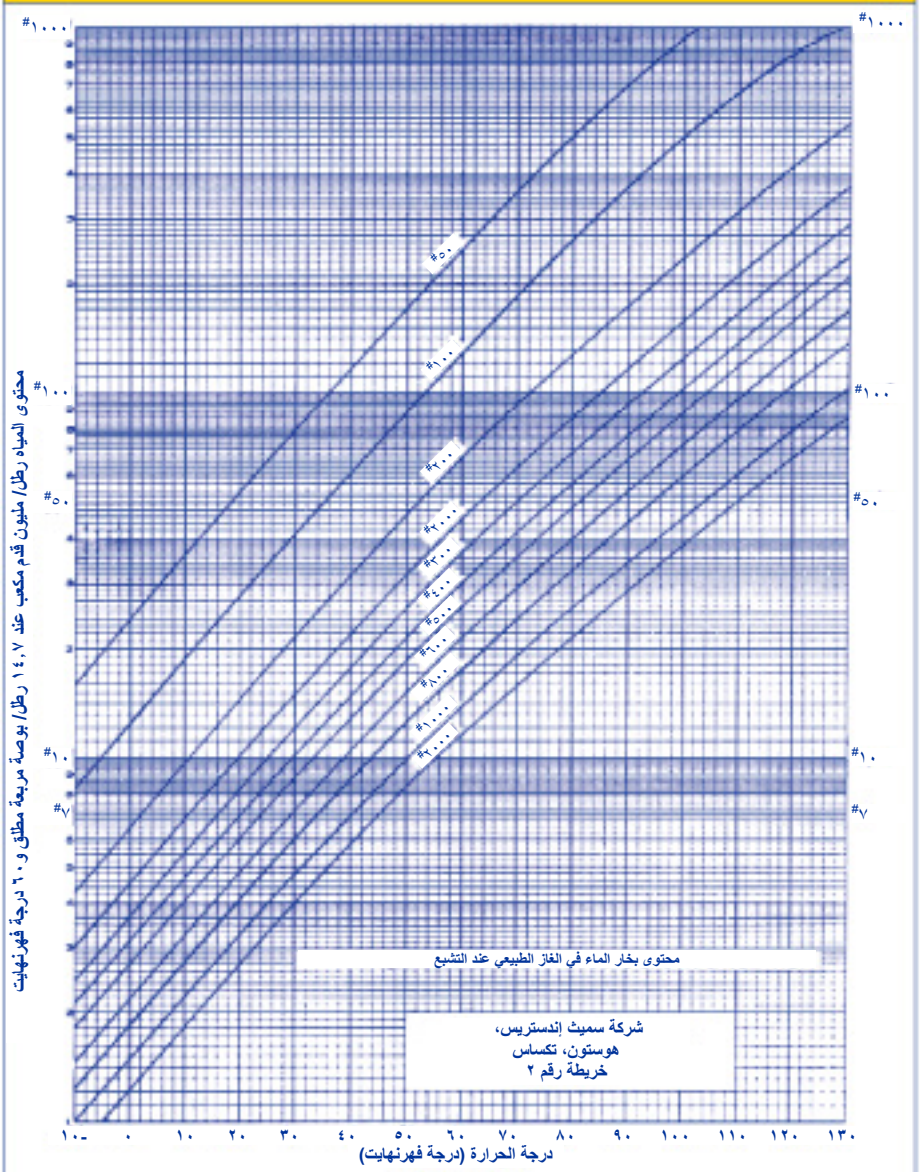
ملحق (أ)

محتوى رطوبة الغاز الطبيعي بالتوازن مع المجففات (رطل مياه/مليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي)																			
أقراص مجففة مائعة من كلوريد الكالسيوم																			
	١٠ رطل لكل بوصة مربعة	٢٥ رطل لكل بوصة مربعة	٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	٧٥ رطل لكل بوصة مربعة	١٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	١٢٥ رطل لكل بوصة مربعة	١٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	١٧٥ رطل لكل بوصة مربعة	٢٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٢٢٥ رطل لكل بوصة مربعة	٢٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	٢٧٥ رطل لكل بوصة مربعة	٣٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٣٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	٤٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٥٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٧٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	١٠٠٠ رطل لكل بوصة مربعة
٨٠ف	٣٤٤	٢١٩	١٣٤	٩٨	٧٧	٦٤	٥٥	٤٨	٤٣	٣٩	٣٥	٣٣	٣٠	٢٧	٢٣,٦	١٩,٧	١٤,٣	١١,٦
٧٥ف	٢٩٢	١٨٦	١١٣	٨٣	٦٥	٥٤	٤٦	٤١	٣٦	٣٣	٣٠	٢٨	٢٦	٢٢,٥	٢٠,١	١٦,٨	١٢,٢	٩,٩
٧٠ف	٢٤٦	١٥٧	٩٦	٧٠	٥٥	٤٦	٣٩	٤٣	٣١	٢٧	٢٥	٢٣,٤	٢١,٧	١٩,١	١٧,١	١٤,٣	١٠,٤	٨,٥
٦٥ف	٢٠٧	١٣٢	٨١	٥٩	٤٧	٣٩	٣٣	٢٩	٢٦	٢٣,٥	٢١,٤	١٩,٨	١٨,٤	١٦,٢	١٤,٥	١٢,١	٨,٩	٧,٣
٦٠ف	١٧٤	١١١	٦٨	٥٠	٣٩	٣٣	٢٩	٢٤,٥	٢١,٩	١٩,٨	١٨,١	١٦,٨	١٥,٥	١٣,٧	١٢,٣	١٠,٣	٧,٦	٦,٢
٥٨ف	١٦٢	١٠٣	٦٣	٤٦	٣٦	٣١	٢٦	٢٢,٨	٢٠,٣	١٨,٤	١٦,٤	١٥,٦	١٤,٤	١٢,٩	١١,٤	٩,٦	٧	٥,٨
٥٦ف	١٥٠	٩٦	٥٩	٤٣	٣٤	٢٩	١٤,١	١٢,٢	١٨,٩	١٧,١	١٥,٧	١٤,٥	١٣,٤	١١,٨	١٠,٦	٨,٩	٦,٦	٥,٤
٥٤ف	١٤٠	٨٩	٥٥	٤٠	٣٢	٢٦	٢٢,٥	١٩,٨	١٧,٦	١٦	١٤,٦	١٣,٥	١٢,٦	١١,١	٩,٩	٨,٣	٦,٢	٥,١
٥٢ف	١٣٠	٨٣	٥١	٣٧	٢٩	٢٤,٥	٢١	١٨,٤	١٦,٤	١٤,٩	١٤,٤	١٢,٦	١١,٧	١٠,٣	٩,٣	٧,٨	٥,٨	٤,٧
٥٠ف	١٢١	٧٧	٤٧	٣٥	٢٧	٢٢,٨	١٩,٥	١٧,١	١٥,٣	١٣,٩	١٢,٧	١١,٧	١٠,٩	٩,٦	٨,٦	٧,٢	٥,٤	٤,٤
٤٥ف	١٠٠	٦٤	٣٩	٢٩	٢٢,٧	١٨,٩	١٦,٢	١٤,٣	١٢,٧	١١,٥	١٠,٦	٩,٨	٩,١	٨	٧,٢	٦,١	٤,٥	٣,٧
٤٠ف	٨٣	٥٣	٣٢	٢٤	١,٨	١٥,٦	١٣,٤	١١,٨	١٠,٥	٩,٦	٨,٨	٨,١	٧,٥	٦,٧	٦	٥	٣,٨	٣,١
٣٥ف	٨٨	٤٤	٢٧	١٩,٦	١٥,٥	١٣	١١,١	٩,٨	٨,٧	٧,٩	٧,٢	٨,٧	٦,٢	٥,٥	٥	٤,٢	٣,١	٢,٦
أقراص مجففة مائعة من كلوريد الليثيوم																			
	١٠ رطل لكل بوصة مربعة	٢٥ رطل لكل بوصة مربعة	٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	٧٥ رطل لكل بوصة مربعة	١٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	١٢٥ رطل لكل بوصة مربعة	١٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	١٧٥ رطل لكل بوصة مربعة	٢٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٢٢٥ رطل لكل بوصة مربعة	٢٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	٢٧٥ رطل لكل بوصة مربعة	٣٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٣٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	٤٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٥٠٠ رطل لكل بوصة مربعة	٧٥٠ رطل لكل بوصة مربعة	١٠٠٠ رطل لكل بوصة مربعة
٨٠ف	١٢٨	٨١	٥٠	٣٦	٢٩	٢٣,٧	٢٠,٢	١٧,٨	١٥,٨	١٤,٣	١٣	١٢	١١,١	٩,٨	٨,٧	٧,٣	٥,٣	٤,٣
٧٥ف	١٠٨	٦٩	٤٢	٣١	٢٤,٢	٢٠	١٧,٢	١٥,١	١٣,٤	١٢,١	١١,١	١٠,٢	٩,٥	٨,٣	٧,٤	٦,٢	٤,٥	٣,٧
٧٠ف	٩١	٥٩	٣٦	٢٦	٢٠,٤	١٧	١٤,٥	١٢,٧	١١,٣	١٠,٣	٩,٤	٨,٧	٨	٧,١	٦,٣	٥,٣	٣,٨	٣,١
٦٥ف	٧٧	٤٩	٣٠	٢١,٩	١٧,٢	١٤,٣	١٢,٢	١٠,٨	٩,٦	٨,٧	٧,٩	٧,٣	٦,٨	٦	٥,٤	٤,٥	٣,٣	٢,٧
٦٠ف	٦٥	٤١	٢٥	١٨,٤	١٤,٥	١٢,١	١٠,٣	٩,١	٨,١	٧,٤	٦,٧	٦,٢	٥,٧	٥	٤,٥	٣,٨	٢,٨	٢,٣
٥٨ف	٦٠	٣٨	٢٣,٤	١٧,١	١٣,٥	١١,٢	٩,٦	٨,٤	٧,٥	٦,٨	٦,٢	٥,٧	٥,٣	٤,٧	٤,٢	٣,٥	٢,٦	٢,١
٥٦ف	٥٦	٣٧	٢١,٧	١٥,٩	١٢,٥	١٠,٥	٨,٩	٧,٨	٧	٦,٣	٥,٨	٥,٤	٥	٤,٤	٣,٩	٣,٣	٢,٤	٢
٥٤ف	٥٢	٣٣	٢٠,٣	١٤,٨	١١,٧	٩,٧	٨,٣	٧,٣	٦,٥	٥,٩	٥,٤	٥	٤,٦	٤,١	٣,٧	٣,١	٢,٣	١,٨
٥٢ف	٤٨	٣١	١٨,٩	١٣,٨	١٠,٩	٩	٧,٧	٦,٨	٦,١	٥,٥	٥	٤,٧	٤,٣	٣,٨	٣,٤	٢,٩	٢,١	١,٧
٥٠ف	٤٥	٢٩	١٧,٥	١٢,٨	١٠,١	٨,٤	٧,٢	٦,٤	٥,٦	٥,١	٤,٧	٤,٤	٤	٣,٥	٣,٢	٢,٧	٢	١,٦
٤٥ف	٣٧	٢٣,٨	١٤,٥	١٠,٧	٨,٤	٧	٦	٥,٣	٤,٧	٤,٣	٣,٩	٣,٦	٣,٣	٢,٩	٢,٦	٢,٢	١,٦	١,٣
٤٠ف	٣٠	١٩,٦	١٢	٨,٧	٦,٩	٥,٨	٤,٩	٤,٤	٣,٩	٣,٦	٣,٢	٣	٢,٨	٢,٤	٢,٢	١,٨	١,٤	١,١
٣٥ف	٢٥	١٦,١	٩,٩	٧,٢	٥,٧	٤,٨	٤,١	٣,٦	٣,٢	٢,٩	٢,٧	٢,٥	٢,٣	٢	١,٨	١,٥	١,١	٠,٩

المصدر: فان إير

ملحق (ب)

محتوى بخار الماء في الغاز الطبيعي عند التشبع



المصدر: شركة سميث اندستريز، هوستون، تكساس

الدروس المستفادة

1EPA
United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPAxxx
xxx 2006

1EPA
الولايات المتحدة
وكالة الحماية البيئية
الهواء والإشعاع (٦٢٠٢ جيه)
١٢٠٠ طريق بنسلفانيا، إن دبليو
واشنطون، دي سي ٢٠٤٦٠

EPAxxx
٢٠٠٦ xxx