DIRECTED INSPECTION AND MAINTENANCE AT COMPRESSOR STATIONS

أعمال الفحص والصيانة الموجهة في محطات الضاغطات

ملخص تنفيذي

تضم الشبكة الأمريكية لنقل الغاز الطبيعي ما يزيد على ٢٧٩٠٠٠ ميلاً من الأنابيب. وبالتوازي مع هذه الشبكة، تعتبر محطات الضاغطات إحدى أكبر مصادر الانبعاثات الانفلاتية، من خلال إنتاج نسبة تقديرية تبلغ ٥٠,٧ مليار قدم مكعب من انبعاثات الميثان سنويًا من الضاغطات المسربة ومكونات الأجهزة الأخرى مثل الصمامات وحواف الأنابيب والوصلات والخطوط مفتوحة الطرف. وتوضح النتائج التي تم تجميعها من شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي أن هناك نسبة قدرها ٩٥ في المائة من انبعاثات الميثان هذه صادرة من ٢٠ في المائة من المكونات المسربة بمحطات الضاغطات.

ويعد تنفيذ برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) عبارة عن وسيلة مثبتة وفعالة من حيث التكلفة لاكتشاف وقياس وإصلاح مواضع تسرب المعدات وتحديدها وفقًا للأولوية من أجل تقليل انبعاثات الميثان. هذا، ويبدأ برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) بعملية مسح أساسية لتحديد وقياس نسب التسرب. ثم يتم إجراء عمليات الإصلاح - التي يمكن القيام بها بصورة فعالة من حيث التكلفة - للمكونات المسربة. وتقوم بعض عمليات المسح التالية على بعض البيانات التي تم الحصول عليها من عمليات المسح السابقة، مما يسمح للمشغلين بالتركيز على المكونات الأكثر تعرضًا للتسرب والتي يجب إصلاحها. وقد أثبتت عمليات المسح الأساسية على محطات ضاغطات النقل الخاصة بشركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي أن غالبية انبعاثات الميثان الانفلاتية تصدر من عدد صغير نسبيًا من المكونات المسربة.

فضلاً عن ذلك، فقد أبلغ شركاء ستار (STAR) لنقل الغاز الطبيعي عن تحقيق نسب توفير ونسب تقليل انبعاث غاز الميثان جديرة بالذكر من خلال تطبيق برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M). وقد أوضحت إحدى الدراسات التي تم إجراؤها في عام ١٩٩٩ والتي تناولت ١٣ محطة ضاغطات أن متوسط قيمة الغاز الذي أمكن توفيره من خلال تطبيق برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) في أي محطة ضاغطات يبلغ ٨٨٢٣٩ دولار كل عام بمتوسط تكلفة ٢٦٢٤٨ دولار لكل محطة.

مصدر التسريب	متوسط معدلات توفير الغاز المحتملة (ألف قدم مكعب/سنويًا)	طريقة تخفيض انبعاثات الميثان	قيمة الغاز الذي تم توفيره (دولار/عام)[1]	متوسط التكلفة الأولية للتنفيذ	متوسط معدلات التوفير المحتملة في العام الأول
مكونات محطة الضاغطات	٢٩٤١٣ لكل محطة ضاغطات	تحديد وقياس نسب التسرب. إجراء عمليات إصلاح فعالة من حيث التكلفة.	٨٨٢٣٩ دولار لكل محطة ضاغطات	٢٦٢٤٨ دولار لكل محطة ضاغطات	٦١٩٩١ لكل محطة ضاغطات

[1] غاز بقيمة ٣ دولارات لكل ألف قدم مكعب: التكلفة الكلية لعملية المسح الأساسية الأولية وعمليات إصلاح مواضع التسرب.

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

الدروس المستفادة

مقدمة

تعمل محطات ضاغطات نقل الغاز على زيادة الضغط عند نقاط مختلفة على طول خطوط نقل الغاز الطبيعي من أجل التغلب على مشكلة فقد الضغط التي تحدث في الأنابيب الممتدة لمسافات طويلة. هذا، ويتم دعم أنابيب نقل الغاز الطبيعي الممتدة لمسافة تزيد على ٢٧٩٠٠٠ ميلاً من خلال محطات ضاغطات قدرها ١٧٩٠ تقريبًا. وتتميز غالبية محطات الضاغطات بأنها مجهزة بضاغطات ترددية تعمل بالغاز أو ضاغطات تعمل بالضغط المركزي (تربينات). وتخضع هذه الضاغطات والمكونات المصاحبة لها مثل الأنابيب والصمامات لإجهاد أساسي ميكانيكي وحراري ونتيجة لذلك تكون معرضة للتسريب.

إضافة إلى ذلك، يمكن لبرنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) بمحطات الضاغطات أن يقوم بخفض انبعاثات الميثان وتحقيق نسب توفير هامة من خلال تحديد مكان المكونات المسربة وتركيز جهود الصيانة على أكبر مواضع التسرب التي يجب إصلاحها. ويتم توجيه عمليات المسح التالية للانبعاثات نحو مكونات الموقع الأكثر احتمالاً للتسرب بالإضافة إلى إمكانية إيجادها وإصلاحها بصورة فعالة من حيث التكلفة.

الخلفية الفنية

تبدأ برامج أعمال الفحص والصيانة بعملية مسح أساسية شاملة لكافة مكونات المعدات في محطات الضاغطات في نظام النقل، حيث يقوم المشغلون أولاً بتحديد المكونات المسربة، ثم قياس معدل الانبعاثات لكل موضع تسرب. ويتم تقدير تكلفة الإصلاح لكل موضع تسرب بالنسبة لمعدلات توفير الغاز المتوقعة وبعض المعايير الاقتصادية الأخرى مثل فترة السداد. ثم يتم استخدام النتائج الأولية لعمليات مسح حالات التسرب وعمليات إصلاح المعدات لتوجيه جهود أعمال الفحص والصيانة التالية.

تقنيات فحص مواضع التسرب

قد تشتمل عملية فحص مواضع التسرب في برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) على كافة المكونات في إطار عملية مسح أساسية شاملة، أو أنها قد تركز فقط على المكونات المحتمل أن تتسبب في حالات تسرب هامة. وفي هذا الصدد، يمكن استخدام العديد من تقنيات فحص مواضع التسرب.

- **الفحص بفقاعات الصابون** هي طريقة سريعة وسهلة ومنخفضة التكلفة للغاية لفحص مواضع التسرب. وتتضمن هذه التقنية رش محلول صابوني على المكونات الصغيرة التي يمكن الوصول إليها مثل الوصلات الملولبة. تعد طريقة المعالجة بالصابون هي طريقة فعالة لتحديد مكان التجهيزات والوصلات غير المربوطة بإحكام والتي يمكن ربطها على الفور لإصلاح مواضع التسرب وللفحص السريع للتأكد من مدى دقة وإحكام عملية الإصلاح. ويمكن للمشغلين حماية ما يقرب من ١٠٠ مكون في الساعة عن طريق المعالجة بالصابون.
- **الفحص الإلكتروني** باستخدام أجهزة كشف غاز يدوية أو أجهزة "استنشاق". تعد هذه الطريقة بمثابة طريقة أخرى سريعة ومريحة لاكتشاف مواضع التسرب التي يمكن الوصول إليها. هذا، ويتم تزويد أجهزة كشف الغاز الإلكترونية بأجهزة استشعار التوصيل الحراري وأكسدة العوامل الحفازة المصممة خصيصًا لاكتشاف وجود غازات محددة. كما يمكن أيضًا استخدام أجهزة كشف الغاز الإلكترونية على الفتحات الأكبر حجمًا والتي لا يمكن فحصها باستخدام طريقة المعالجة بالصابون. والجدير بالذكر أن الفحص الإلكتروني ليس سريعًا مثل طريقة الفحص بالصابون (بمعدل ٥٠ مكونًا في الساعة)، كما أن تحديد مواضع التسرب قد يمثل بعض الصعوبة في المناطق التي تتميز بنسب تركيز عالية من غاز الكربون المائي.
- **أجهزة تحليل الأبخرة العضوية (OVA) وأجهزة تحليل الأبخرة السامة (TVA)** عبارة عن أجهزة قابلة للنقل للكشف عن الكربون المائي والتي يمكن استخدامها في تحديد مواضع التسرب. يعتبر جهاز تحليل الأبخرة العضوية عبارة عن جهاز للكشف عن تأين الشعلة (FID) والذي يقوم بقياس نسبة تركيز الأبخرة العضوية في نطاق يتراوح من ٩ إلى ١٠٠٠٠ جزءًا لكل مليون (ppm). ويجمع جهاز تحليل الأبخرة السامة بين جهاز الكشف عن تأين الشعلة (FID) وجهاز الكشف عن التأين الضوئي (PID) ويمكنه أيضًا قياس الأبخرة العضوية بنسب تركيز تتجاوز ١٠٠٠٠ جزءًا لكل مليون. تقيس كل من أجهزة تحليل الأبخرة السامة (TVA) وأجهزة تحليل الأبخرة العضوية (OVAs) نسبة تركيز الميثان في المكان المحيط بموضع التسرب.
- **الكشف الصوتي لموضع التسرب:** تستخدم هذه الطريقة أجهزة فحص صوتي قابلة للنقل مصممة للكشف عن الإشارات الصوتية الناتجة عند تسرب الغاز المضغوط من خلال أي فتحة. فعندما ينتقل الغاز من أي وسط عالي الضغط إلى وسط منخفض الضغط من خلال فتحة تسرب، يقوم التدفق العنيف بإحداث إشارة صوتية يتم اكتشافها من خلال جهاز استشعار يدوي أو مسبار ويتم قراءة قيمته عندما تزيد قراءة جهاز القياس. وعلى الرغم من أن أجهزة الكشف الصوتية لا تقوم بقياس معدلات التسرب، فإنها تشير نسبيًا إلى حجم موضع التسرب – وتتوافق نسبة الشدة العالية أو الإشارة "العالية" مع نسبة التسرب الأعلى. هذا، ويتم تصميم أجهزة الفحص الصوتي لكشف إشارات الترددات العالية أو الترددات المنخفضة.

الدروس المستفادة

يفضل استخدام طريقة *الكشف الصوتي العالي التردد* في الأوساط الممتلئة بالضوضاء والتي يمكن من خلالها توصيل المكونات المسربة بجهاز استشعار يدوي. وكما هو موضح في الملحق ١، يتم وضع جهاز استشعار صوتي مباشرةً على فتحة الجهاز للكشف عن الإشارات. وبدلاً من ذلك، يمكن أيضًا استخدام طريقة *الكشف فوق الصوتي عن التسرب* وهي طريقة فحص صوتي تقوم باكتشاف الإشارات فوق الصوتية المنقولة بالجو في نطاق تردد يتراوح من ٢٠ إلى ١٠٠ كيلو هيرتز. يتم تزويد أجهزة الكشف فوق الصوتية بمسبار صوتي أو جهاز مسح ضوئي يتم توجيهه إلى مصدر التسرب المحتمل بمسافة تصل إلى ١٠٠ قدم. هذا، ويتم تحديد مواضع التسرب عن طريق الاستماع إلى أي زيادة في شدة الصوت من خلال سماعات الرأس. وقد تكون أجهزة الكشف فوق الصوتية حساسة لأية ضوضاء موجودة على الرغم من أن غالبية أجهزة الكشف تتميز بقدرات ضبط تردد نموذجية بحيث يمكن ضبط المسبار على موضع تسرب محدد في أي وسط مليء بالضوضاء.

الملحق ١: الكشف الصوتي عن التسرب

المصدر: شركة الصوتيات الفيزيائية

طرق قياس التسرب

ثمة مكون هام لبرنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) وهو قياس معدل انبعاثات الكتلة أو كمية التسرب المحدد بحيث يتم تخصيص العمالة والموارد فقط لمواضع التسرب المحددة التي يجب إصلاحها. وفي هذا الصدد، يمكن استخدام أربع طرق لقياس التسرب:

★ يمكن استخدام **أجهزة تحليل الأبخرة السامة (TVA)** في تقدير معدل تسرب الكتلة. ويتم تحويل نسب تركيز أجهزة تحليل الأبخرة السامة (TVA) التي يتم قياسها (بالجزء لكل مليون) إلى معدل انبعاثات الكتلة من خلال استخدام معادلة ارتباط. ويعد العائق الأساسي لأجهزة تحليل الأبخرة السامة (TVA) لقياس تسرب الميثان هو أن معادلات الارتباط بصفة نموذجية غير مرتبطة بالموقع. وتم توضيح أن معدلات تسرب الكتلة – التي تم التنبؤ بها من خلال معادلات الارتباط العامة المتعلقة بأجهزة تحليل الأبخرة السامة (TVA) – انحرفت عن معدلات التسرب الفعلية بمعدل ثلاث أو أربع درجات. وبالمثل، فقد أثبتت دراسة تم إجراؤها بصورة مشتركة من قبل شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي وهيئة إي بي إيه (EPA)ومعهد أبحاث الغاز (GRI) والمعروف حاليًا باسم معهد تكنولوجيا الغاز (GTI) والهيئة الأمريكية للغاز (AGA) أن بدايات تركيز أجهزة تحليل الأبخرة السامة أو قيم "القطع" مثل ١٠٠٠٠ جزء لكل مليون أو ١٠٠٠٠٠ جزء لكل مليون هي قيم غير فعالة لتحديد مواضع تسرب الميثان بمحطات الضاغطات التي يمكن إصلاحها بصورة فعالة من حيث التكلفة. ونظرًا لأن استخدام معادلات الارتباط العامة لأجهزة تحليل الأبخرة السامة (TVA) قد يزيد من نسبة عدم دقة القياس، فسوف يكون التطوير والاستخدام للارتباطات الخاصة بالموقع أكثر فعالية في تحديد معدلات التسرب الفعلية.

★ **تقنيات التعبئة:** تستخدم بصفة عامة في قياس انبعاثات الكتلة الصادرة من مواضع التسرب بالمعدات، حيث يرفق المكون المسرب أو فتحة التسرب في "كيس" أو وعاء. ويتم نقل أي غاز حامل مثل النيتروجين عن طريق الكيس بمعدل تدفق معروف. وبمجرد تحقيق التوازن بالنسبة للغاز الحامل، يتم تجميع عينة غاز من الكيس ويتم قياس نسبة تركيز الميثان في العينة. ويتم احتساب معدل انبعاثات الكتلة من نسبة تركيز الميثان بعينة الكيس التي تم قياسها وكذلك معدل تدفق الغاز الحامل. يعد قياس معدل التسرب باستخدام طرق التعبئة دقيق تمامًا (في إطار يتراوح من ± ١٠ إلى ١٥ في المائة)، ولكنها تعتبر عملية بطيئة (حيث يتم قياس عينتين أو ثلاث عينات في كل ساعة). وعلى الرغم من أن تقنيات التعبئة مفيدة في القياس المباشر لمواضع التسرب الكبرى، فقد تكون التعبئة ممكنة بالنسبة لمكونات المعدات الكبيرة جدًا والتي لا يمكن الوصول إليها والتي تتميز بشكل غير مألوف.

★ **أجهزة جمع العينات كبيرة الحجم** تلتقط كافة الانبعاثات من المكون المسرب لقياس نسب الانبعاثات المتسربة بدقة. يوضح الملحق ٢ قياس معدل التسرب باستخدام جهاز جمع عينات كبير الحجم. حيث يتم سحب انبعاثات التسرب بالإضافة إلى عينة كبيرة من الهواء المحيط بالمكون المسرب داخل أداة من خلال خرطوم تجميع عينات خوائي. ويتم تزويد أجهزة جمع العينات كبيرة الحجم بأجهزة مزدوجة للكشف عن الكربون المائي والتي تقوم بقياس تركيز غاز الكربون المائي في العينة التي يتم الحصول عليها، وذلك بالإضافة إلى نسبة تركيز غاز الكربون المائي المحيط. ويتم تصحيح قياسات العينات الخاصة بتركيز الكربون المائي المحيط ويتم احتساب معدل تسرب الكتلة من خلال ضرب معدل تدفق العينة التي يتم قياسها في الفرق بين تركيز الغاز المحيط وتركيز الغاز في العينة التي يتم قياسها. ويتم الحصول على معدل انبعاث غاز الميثان من خلال معايرة أجهزة الكشف عن الكربون المائي بالنسبة لنطاق من نسب تركيز الميثان في الهواء.

الملحق ٢: قياس التسرب باستخدام جهاز جمع عينات كبيرة الحجم

المصدر: مجلة البترول والغاز، ٢١ يونيو ٢٠٠١

علاوة على ذلك، يتم تزويد أجهزة جمع العينات كبيرة الحجم بوصلات خاصة مصممة لضمان الحصول على الانبعاثات الكلية ولمنع التداخل مع أية مصادر انبعاثات مجاورة أخرى. تقيس أجهزة جمع الانبعاثات الكبيرة الحجم معدلات تسرب تصل إلى ٨ أقدام مكعبة قياسية لكل دقيقة وهو معدل يعادل ١١,٥ ألف قدم مكعب يوميًا. أما بالنسبة لمعدلات التسرب الأكبر من ٨ أقدام مكعبة قياسية لكل دقيقة، فإنها يمكن قياسها باستخدام طرق التعبئة أو مقاييس التدفق. ويمكن لاثنين من المشغلين قياس ٣٠ مكونًا في الساعة باستخدام جهاز جمع عينات كبيرة الحجم بالمقارنة بنسب تتراوح من اثنين إلى ثلاثة قياسات لكل ساعة باستخدام طرق التعبئة.

الدروس المستفادة

★ **أجهزة قياس الجريان الدوارة وأجهزة قياس التدفق الأخرى:** يتم استخدامها لقياس نسب التسرب الكبيرة للغاية والتي قد تغمر بعض الأجهزة الأخرى. حيث توجه مقاييس التدفق تدفق الغاز من أي مصدر تسرب عن طريق قناة معايرة. ويعمل التدفق على رفع "فلينة طافية" داخل الأنبوبة مما يشير إلى نسبة التسرب. ونظرًا لأن أجهزة قياس الجريان الدوارة تكون ضخمة، فإن هذه الأجهزة تتناسب بصورة مُثلى مع الخطوط مفتوحة الطرف والمكونات المماثلة، حيث يمكن توجيه التدفق بالكامل من خلال المقياس. ويمكن لأجهزة قياس الجريان الدوارة وأجهزة قياس التدفق الأخرى أن تستكمل القياسات التي تم التوصل إليها باستخدام تقنية التعبئة أو أجهزة جمع العينات كبيرة الحجم.

يلخص الملحق ٣: التطبيق والاستخدام والفاعلية والتكلفة التقريبية لطرق قياس وفحص التسرب الموضحة أعلاه.

الملحق ٣: تقنيات الفحص والقياس

الجهاز / التقنية	التطبيق والاستخدام	الفعالية	التكلفة الرأسمالية التقريبية
محلول الصابون	المصادر ذات النقاط الصغيرة مثل الموصلات	فحص فقط	١٠٠ – ٥٠٠ دولار (بالاعتماد على تكلفة المرفق)
مكشافات الغاز الإليكترونية	حواف الأنابيب، الفتحات، الفجوات الكبرى والخطوط ذات النهايات المفتوحة	فحص فقط	أقل من ١٠٠ دولار
المكشافات السماعية/ المكشافات فوق الصوتية	جميع العناصر، التسريبات الأكبر حجماً والغاز المضغوط والعناصر التي لا يمكن الوصول إليها	فحص فقط	من ١٠٠٠ دولار إلى ٢٠٠٠٠ دولار (بناء على حساسية الجهاز وحجمه والجهاز المرتبط به)
جهاز تحليل البخار السام (مكشاف تأيين اللهب)	جميع العناصر	يعد الأفضل للفحص فقط. يتطلب القياس معادلات ارتباط خاصة بالموقع	أقل من ١٠،٠٠٠ (بناء على حساسية/ حجم الجهاز)
التكييس	العناصر التي يمكن الوصول إليها	القياس فقط، مستهلكة للوقت	أقل من ١٠٠٠٠ دولار (بناء على تكلفة تحليل العينة
جهاز اختبار العينات ذا الحجم الكبير	العناصر التي يمكن الوصول إليها (معدل التسريب > ١١،٥ ألف قدم مكعب)	الفحص والقياس	> ١٠٠٠٠ دولار
مقياس الجريان الدوار	التسريبات الكبيرة جداً	القياس فقط	أقل من ١٠٠٠٠ دولار

عملية اتخاذ القرار

يتم تطبيق برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) في أربع خطوات: (١) إجراء عملية مسح أساسية؛ (٢) تسجيل النتائج وتحديد الوحدات المرشحة للإصلاح الفعال التكلفة؛ (٣) تحليل البيانات وإجراء عمليات الإصلاح وتقدير نسب توفير الميثان؛ (٤) وضع خطة مسح لأعمال الفحص المستقبلية ولمتابعة المعدات المعرضة للتسريب.

الخطوة الأولى: إجراء عملية مسح أساسية. يبدأ برنامج أعمال الفحص والصيانة بشكل نموذجي بعملية فحص أساسية لتحديد المكونات المسربة. وبمجرد تحديد موقع المكونات المسربة، يتم الحصول على قياسات دقيقة لمعدل التسرب باستخدام طرق التعبئة أو باستخدام أجهزة جمع العينات الكبيرة الحجم أو أجهزة تحليل الأبخرة السامة (TVA) التي تتميز بمعاملات ارتباط خاصة بنسبة التركيز المرتبطة بالموقع. وقد وجد الشركاء أن قياس التسرب باستخدام أجهزة جمع عينات كبيرة الحجم يتميز بأنه فعال من حيث التكلفة وسريع ودقيق.

خطوات اتخاذ القرار لتطبيق برنامج الفحص والصيانة الموجه

١. قم بإجراء المسح الأساسي.
٢. قم بتسجيل النتائج وتحديد المرشحات للإصلاح.
٣. قم بتحليل البيانات وتقدير المدخرات.
٤. قم بوضع خطة مسحية لبرنامج الفحص والصيانة المستقبلي.

الدروس المستفادة

لقد كانت تكلفة إجراء عملية المسح الأساسية - بغرض إيجاد وقياس مواضع التسرب في ١٣ محطة ضغط المتضمنة في دراسة إي بي إيه (EPA)/ جي آر آي (GRI)/ بي آر سي آي (PRCI) التي إجراؤها في عام ١٩٩٩ - تبلغ تقريبًا ٦٩٠٠ دولار لكل محطة ضاغطات أو حوالي ٢,٥٥ دولار لكل مكون. وتعتبر أية عملية مسح أساسية تركز فقط على فحص موضع التسرب أقل تكلفة من الناحية الفعلية. وعلى الرغم من ذلك، فإن عملية فحص موضع التسرب وحدها لا توفر المعلومات اللازمة لصنع القرارات المتعلقة بعمليات الإصلاح الفعالة من حيث التكلفة، فقد وجد الشركاء أن عملية المسح الخاصة بالمتابعة في أي برنامج أعمال فحص وصيانة موجهة (DI&M) مستمر تكون تكلفتها أقل من تكلفة المسح الأولي بنسبة تتراوح من ٢٥ إلى ٤٠ في المائة نظرًا لأن عمليات المسح التالية تركز فقط على المكونات المعرضة للتسرب والتي يمكن إصلاحها بصورة اقتصادية. وبالنسبة لبعض مكونات المعدات، يمكن إتمام عملية قياس وفحص معدلات التسرب بصورة أكثر كفاءة أثناء إجراء برنامج مسح أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) والذي يتم إعداده بصورة منتظمة. أما بالنسبة لبعض الأجزاء الأخرى، يمكن دمج بعض أعمال فحص التسرب البسيطة والسريعة في إجراءات مستمرة خاصة بالتشغيل والصيانة. ويقوم بعض المشغلين بتدريب فريق الصيانة على إجراء عمليات المسح للتسرب. بينما يقوم البعض الآخر بالاستعانة بمستشارين خارجيين لإجراء عملية المسح الأساسية.

الخطوة الثانية: تسجيل النتائج وتحديد المواضع المرشحة للإصلاح. يجب تقييم قياسات التسرب المجمعة في الخطوة الأولى لتحديد مكونات التسرب التي يمكن إصلاحها بصورة فعالة من حيث التكلفة. ويتم تحديد مواضع التسرب وفقًا للأولوية من خلال مقارنة قيمة الغاز الطبيعي المفقود بالتكلفة المقدرة بالنسبة لقطع الغيار والعاملين وفترة إيقاف تشغيل المعدات لإصلاح التسرب. وتعتبر بعض الإصلاحات أكثر تعقيدًا وتتطلب إيقاف تشغيل المعدات أو شراء قطع غيار جديدة. وللقيام بهذه الإصلاحات، ربما يقوم بعض المشغلين باختيار وضع علامات تحديد بحيث يمكن إصلاح مواضع التسرب فيما بعد إذا كانت تكاليف الإصلاح خاضعة للضمان. وربما يتم تحديد تكاليف إصلاح بعض المكونات مثل الصمامات وحواف الأنابيب والوصلات والخطوط المفتوحة الطرف من خلال حجم المكونات مع إجراء إصلاحات بالمكونات الكبيرة الحجم التي تكون تكلفتها أكبر من تكاليف إصلاح المكونات الصغيرة الحجم. وربما يتم إيجاد بعض مواضع التسرب الكبيرة في المعدات المعدة أساسًا للصيانة الروتينية. وفي هذه الحالة ربما يتم تقديم جدول الصيانة لإصلاح التسرب بدون أية تكاليف إضافية.

وبمجرد تحديد وقياس مواضع التسرب، يجب على المشغلين تسجيل بيانات التسرب الأساسية بحيث يمكن لعمليات الفحص المستقبلية أن تركز على مكونات التسرب الأكثر أهمية. ويمكن تعقب عملية مسح أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) باستخدام أية طريقة أو أشكال مناسبة ومريحة. وتتضمن المعلومات التي قد يقوم المشغلون باختيار تجميعها ما يلي:

- ★ محدد لكل مكون مسرب.
- ★ نوع المكون (على سبيل المثال: الخطوط مفتوحة الطرف المسئولة عن التفوير)
- ★ معدل التسرب الذي تم قياسه.
- ★ تاريخ المسح.
- ★ النسبة التقديرية السنوية للغاز المفقود.
- ★ تكاليف الإصلاح التقديرية.

ستمثل هذه المعلومات دليلاً إرشاديًا لعمليات مسح الانبعاثات التالية، كما أنها ستعمل على ترتيب أولوية الإصلاحات المستقبلية وتعقب نسب توفير الميثان وفعالية تكلفة برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M).

لقد ظهرت بوادر إدراك مشكلة انبعاثات الميثان الانفلاتية من المعدات المسربة في محطات الضاغطات منذ منتصف التسعينيات كنتيجة لمجموعة من الدراسات الميدانية التي يتم رعايتها من قبل إي بي إيه (EPA) وجي آر آي (GRI) ولجنة أبحاث الأنابيب الدولية (PRCI) التابعة لإيه جي إيه (AGA). وقد أعلنت إحدى الدراسات المنشورة في عام ١٩٩٦ عوامل الانبعاث بناءً على قياسات الانبعاثات في ست محطات ضاغطات في عام ١٩٩٤. كما أعلن جزء إضافي لهذه الدراسة تم نشره من قبل إنداكو لخدمات جودة الهواء في عام ١٩٩٥ نتائج عمليات مسح انبعاثات المكونات ٢٧ و٢١٢ في ١٧ محطة ضاغطات. وتعد الدراسة الثالثة المنشورة في عام ١٩٩٩ من قبل إي بي إيه (EPA) وجي آر آي (GRI) وبي آر سي آي (PRCI) هي أكثر الدراسات شمولية حتى الآن وقد قامت هذه الدراسة بمسح الانبعاثات الانفلاتية الصادرة من ٣٤٠٠٠ مكون في ١٣ محطة ضاغطات.

وتتراوح أحجام محطات الضاغطات التي تم مسحها في الدراسة المنشورة عام ١٩٩٩ من قبل إي بي إيه (EPA) وجي آر آي (GRI) وبي آر سي آي (PRCI) من محطات تحتوي على ١٥ ضاغطًا ترددًيا إلى محطات تحتوي فقط على ضاغطين ترددين. وتشتمل ثلاث محطات ضاغطات تم مسحها على ضاغطين يعملان بالطرد المركزي (توربينين) بكل منهما ولا تحتوي على أية ضاغطات ترددية. وتحتوي محطتان على توربينات وضاغطات ترددية. بينما تحتوي محطات الضاغطات المزودة بضاغطات ترددية على سبعة ضاغطات ترددية لكل محطة في المتوسط. وتحتوي محطات الضاغطات المزودة بتوربينات على تربينين لكل محطة في المتوسط. ويتم تركيب الضاغطات نموذجيًا بالتوازي بحيث يمكن تشغيل أو إيقاف أية ضاغطات وفقًا للحاجة، ويمكن عزل كل ضاغط على حدة وتفريغه من الضغط عند الحاجة من أجل الصيانة. ويتراوح ضغط المدخل في محطات الضاغطات بشكل نموذجي بين ٥٠٠ إلى ٧٠٠ رطل لكل بوصة مربعة بينما يتراوح ضغط المخرج بين ٧٠٠ إلى ١٠٠٠ رطل لكل بوصة مربعة.

الدروس المستفادة

هذا، وقد بلغ عدد المكونات التي تم مسحها لكل محطة ضاغطات في المتوسط ٢٧٠٧ مكونًا، ووجدت نسبة ٥ في المائة من هذه المكونات مسربة. وكانت النسب الكلية للتسرب في ١٣ محطة ضاغطات تتراوح من ٣٨٥ ألف قدم مكعب سنويًا إلى ٢٠٠٠٠٠ ألف قدم مكعب سنويًا. كما وجد أن متوسط معدل تسرب المحطات الإجمالي كان ٤١٠٠٠ ألف قدم مكعب سنويًا. بينما وجد أن أكبر نسبة ١٠ في المائة من التسربات تساهم في نسبة تزيد على ٩٠ في المائة من الانبعاثات. يلخص الملحق ٤ متوسط عوامل الانبعاثات لمكونات محطات الضاغطات.

في الموقع الذي ينبعث منه ٢٠٠ ألف قدم مكعب سنويًا، كان هناك مصدر واحد يصدر ١٤٢٠٠٠ ألف قدم مكعب سنويًا من الانبعاثات – وهي فتحة من نظام الغاز تستخدم في التحكم في معدات تفريغ الضاغطات. ولم يكن هذا مصدرًا مهمًا لانبعاثات الغاز في المواقع الأخرى. بينما كانت محطة الضاغطات المصدرة لانبعاثات هائلة تبدو معتدلة تمامًا حيث تحتوي فقط على سبعة ضاغطات ترددية. وتؤكد تجربة هذه المحطة على قيمة برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) لاكتشاف نسب تسرب الغاز الهائلة والمكلفة بمحطات ضاغطات بكل الأحجام.

ويوضح الملحق ٥ متوسط تكاليف إصلاح التسرب لثلاث عشرة محطة ضاغطات تم تناولها في دراسة إي بي إيه (EPA)/ جي آر آي (GRI)/ بي آر سي آي (PRCI) التي إجراؤها في عام ١٩٩٩. وتشتمل تكاليف الإصلاح على التكليف المحملة بالكامل للعمالة بالإضافة إلى قطع الغيار والمواد المستخدمة.

الخطوة الثالثة: تحليل البيانات وتقدير نسب التوفير. تعد عملية الإصلاح الفعالة من حيث التكلفة جزءًا مهمًا من برامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) الناجحة نظرًا لأنه يمكن تحقيق أكبر حد من نسب التوفير من خلال استهداف مواضع التسرب التي يمكن إصلاحها. وفي جميع الحالات، يجب أن تتجاوز قيمة الغاز الذي تم توفيره تكلفة إيجاد وتصليح موضع التسرب. وقد وجد الشركاء أن هناك طريقة فعالة لتحليل نتائج المسح الأساسي، وهي إنشاء جدول يضم كافة مواضع التسرب بالإضافة إلى تكاليف إصلاحها المصاحبة ونسب توفير الغاز المتوقعة والمدة المتوقعة للإصلاح. وباستخدام هذه المعلومات، يمكن احتساب المعايير الاقتصادية مثل القيمة الحالية الصافية أو فترة السداد بسهولة شديدة بالنسبة لكل عملية إصلاح لموضع تسرب. وفي هذه الحالة، يمكن للشركاء تقرير المكونات المسربة التي يمكن إصلاحها بصورة اقتصادية.

يوضح الملحق ٦ النسبة الإجمالية المحتملة للتوفير في ١٣ محطة ضاغطات تم تناولها في دراسة إي بي إيه (EPA)/ جي آر آي (GRI)/ بي آر سي آي (PRCI) التي تم إجراؤها في عام ١٩٩٩ بناءً على إصلاح مواضع التسرب فقط بنسبة سداد متوقعة أقل من عام واحد. ويفترض أن تقدر فترة الإصلاح بعامين. وبالنسبة لغالبية المواقع، تم استرداد المصروفات الأولية لعملية المسح الأساسية وتكاليف الإصلاح سريعًا من خلال نسب توفير الغاز. وبالنسبة لموقعين (المحطة ١١ والمحطة ١٢)، لم يتم سداد تكاليف الإصلاح والمسح الأساسي في غضون فترة الإصلاح المقدرة بعامين نظرًا لانخفاض معدل التسرب الكلي في محطات الضاغطات هذه.

يوضح هذا المثال أنه ربما تكشف دراسة أساسية شاملة عن أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) - والتي تتضمن جميع محطات ضاغطات نقل الغاز الخاصة بالشركاء – عن عدد قليل من المحطات الفردية التي لا يمكن الاستفادة فيها من المسح الأساسي لأعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M). إذا كان برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة مفيدًا بالنسبة لنظام النقل ككل، فتظل المعلومات - التي تم الحصول عليها من عدد قليل من المحطات عديمة الجدوى- مفيدة أيضًا. وعلى الأقل يتم تحديد وإدارة محطات الضاغطات عديمة الجدوى بشأن أعمال الفحص والصيانة الموجهة بشكل منفصل في عمليات المسح المستقبلية. وربما يتم استبعاد هذه المحطات من عمليات المسح المستقبلية لأعمال الفحص والصيانة الموجهة أو التي مسحها بصورة غير مكررة كثيرًا أو تم فحصها بطرق فعالة من حيث التكلفة تم التركيز عليها بصورة أكبر لتقليل التكاليف.

الملحق ٤: متوسط عوامل الانبعاث الانفلاتية لتسربات المعدات من مكونات محطات الضاغطات

مكونات تحت ضغط الخطوط الأساسية[١]

بيان المكونات	ضاغط يعمل		ضاغط لا يعمل	
	عامل انبعاث الغاز الطبيعي[٢] (ألف قدم مكعب/عام/ضاغط)	العدد الكلي للمكونات التي تم قياسها	عامل انبعاث الغاز الطبيعي[٢] (ألف قدم مكعب/عام/ضاغط)	العدد الكلي للمكونات التي تم قياسها
صمام كروي/صمام سدادي	٠,٦٤ (± ١,٠٤)	١٨٩	٥,٣٣ (± ٣,٧١)	٢٤٠٦
محبس تفوير			٢٠٧,٥ (± ١٧١,٤)	٥٧
وصلة اسطوانة ضاغط	٩,٩ (± ١١,١)	١٤٨	—	—
مانع تسرب حلقة الحشو – يعمل	٨٦٥ (± ٢٤٧)	١٧٨		
مانع تسرب حلقة الحشو- لا يعمل	١٢٦٦ (± ٥٥٢)	٤٢	—	—
صمام الضاغط	٤,١ (± ٣,٨)	٢٣٢٤		
صمام التحكم		—	٤,٢٦ (± ٧,١٣)	٣٣
حافة الأنبوبة	٠,٨١ (± ٠,٨٩)	٨٦٤	٠,٣٢ (± ٠,٢١)	٢٧٢٧
صمام بوابي		—	٠,٦١ (± ٠,٤٣)	١٤٧٦
صمام ملقم	١٧,٢ (± ٥,٦)	٩٤٠		
خط مفتوح الطرف (OEL)		—	٨١,٨ (± ٧٩,٦)	١٦٨
صمام تخفيض الضغط (PRV)			٥٧,٥ (± ٦٣,٢)	١١٧
منظم	—	—	٠,٢ (± ٠,٢)	١٧١
منفذ غاز بادئ التشغيل			٤٠,٨ (± ٤٣,٣)	٥
موصل ملولب	٠,٧٤ (± ٠,٤٦)	١٦٢٥	٠,٦ (± ٠,٣)	١٠٣٣٨
مانع تسرب يعمل بالطرد المركزي – جاف			٦٢,٧ (± ٦٦,٣)	١٤
مانع تسرب يعمل بالطرد المركزي – رطب	—	—	٢٧٨	٢
صمام الوحدة[٣]			٣٥٦٦	١٢

مكونات تحت ضغط غاز الوقود[٤]

	ضاغط يعمل		ضاغط لا يعمل	
صمام كروي/سدادي	٠,١ (± ٠,١)	٤١٤	٠,٥١ (± ٠,٣٧)	٦٥٤
صمام التحكم			٢,٤٦ (± ٣,٨٩)	٦٩
حافة الأنبوبة	—	—	٠,٢ (± ٠,٢)	١٦٥٠
صمام الوقود	٢٧,٦ (± ١٣,٥)	٤٧٩		
صمام بوابي	—	—	٠,٤٣ (± ٠,٣٦)	٦٤٠
خط مفتوح الطرف (OEL)			٢,٥٣ (± ٢,١٩)	٤٢
منفذ كهروهوائي	—	—	٧٦,٦ (± ١١٨,١)	١٤
منظم			٤,٠٣ (± ٣,٩٨)	١٠٣
موصل – ملولب	١,٢١ (± ١,٦٦)	٢٥١١	٠,٣٢ (± ٠,١٦)	٣٦٥٤

[١] يتراوح ضغط الخط الأساسي من ٥٠٠ إلى ١٠٠٠ رطل لكل بوصة مربعة.

[٢] عوامل الانبعاث مع نسبة مصاحبة قدرها ٩٥% من فترة الثقة

[٣] يتم قياس تسرب صمام الوحدة في الضاغطات المفرغة من الضغط. غالبية الضاغطات التي تم مسحها ظلت مضغوطة عند إيقافها.

[٤] يتراوح ضغط غاز الوقود من ٧٠ إلى ١٠٠ رطل لكل بوصة مربعة. ويتم وضع مكونات الضاغط أعلى المكابس في الضاغطات الترددية، وبالتالي تكون خاضعة للحرارة والتردد الأساسي. ويكون هناك تسرب بهذه المكونات فقط عند تشغيل الضاغط.

المصدر: شركة إنداكو لخدمات جودة الهواء (Indaco Air Quality Services, Inc.)، ١٩٩٩، تخفيف التسرب الفعال من حيث التكلفة في محطات ضاغطات نقل الغاز الطبيعي: تقرير رقم: بي آر سي ١٠ - ٩٥٢٦-٢٤٦ (PRC-10 246-9526)

الملحق ٥: متوسط تكلفة الإصلاح وفترة السداد بالنسبة لحالات تسريب المعدات بمحطات الضاغطات		
وصف المكونات	نوع الإصلاح	متوسط التكلفة
صمام كروي – ١ بوصة	استبدال	١٢٠ دولار
سدادة كبيرة بالصمام	إضافة شريط تيفلون وإحكام الغلق	١٥ دولار
وحدة تفوير الضاغط	استبدال	٦٠٠ دولار
وحدة تفوير الضاغط	تجديد	٢٠٠ دولار
غطاء صمام الضاغط	استبدال الحشوة	٦٠ دولار
حافة أنبوبة – ٣٠ بوصة	تغيير الحشوة	١٢٥٠ دولار
حافة أنبوبة – ٦ بوصة	تغيير الحشوة	٣٠٠ دولار
صمام الوقود	استبدال	٢٠٠ دولار
صمام بوابي	إعادة التغليف بالتيفلون	٤٠ دولار
منفذ التشحيم	استبدال	٨٠ دولار
نهاية رأس الضاغط	سحب وتغيير الحشوات	٤٥٠ دولار
حافة صمام الملقم	استبدال الحشوة	٨٠ دولار
ساق صمام الملقم	تجديد	٣٠٠ دولار
صمام إبري	استبدال	١٠٠ دولار
خط مفتوح الطرف بالصمام	تشحيم	٤٥ دولار
باب جهاز استقبال في شكل اسطوانة معدنية	إحكام الإغلاق	١٢٠ دولار
تجهيزات لولبة الأنابيب	إحكام الإغلاق وإضافة شريط تيفلون	٣٠ دولار
صمامات سدادية	تشحيم	٤٠ دولار
صمام تخفيض الضغط – ١ بوصة	استبدال	١٠٠٠ دولار
حافة صمام تخفيض ضغط	إحكام إغلاق	٤٠ دولار
حشوة القضيب	تغيير حلقات الحشوة بدون إزالة القضبان	٧٥٠ دولار
حشوة القضيب	سحب علبة وقضبان الحشوة لتغيير الحلقات وتجديد علبة الحشو	٢٦٠٠ دولار
حشوة القضيب	سحب علبة وقضبان الحشوة لتغيير الحلقات وتجديد علبة الحشو واستبدال القضيب	٥٦٠٠ دولار
وحدة تفوير المحطة	عكس السدادة	٧٢٠ دولار
الأنابيب	إحكام الربط	١٠ دولار
وصيلة	إحكام الربط	١٠ دولار
صمام الوحدة	تنظيف وحقن مانع التسرب	٧٠ دولار
صمام الوحدة – سدادة ١٠ بوصة	استبدال	٢٩٦٠ دولار
المصدر: شركة إنداكو *لخدمات جودة الهواء (Indaco Air Quality Services, Inc.)*، ١٩٩٩، *تخفيف التسرب الفعال من حيث التكلفة في محطات ضاغطات نقل الغاز الطبيعي: تقرير رقم: بي آر سي - ٢٤٦-٩٥٢٦ (PRC- 246-9526)*		

الملحق ٦: ملخص التكاليف المحتملة لأعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) ونسب توفير الغاز في محطات ضاغطات نقل الغاز

المحطة	المعدل الإجمالي لتسرب المحطة (ألف قدم مكعب/عام)	التكلفة التقديرية للمسح الأساسي[١] (دولار/الموقع)	التكلفة التقديرية الكلية لعملية الإصلاح	النسبة الكلية للغاز الذي تم توفيره من خلال إصلاح التسرب (ألف قدم مكعب/عام)	قيمة الغاز الذي يتم توفيره سنويًا (بمعدل ٣ دولارات/ألف قدم مكعب)	التكلفة الكلية لإيجاد وإصلاح مواضع التسرب	العام الأول: صافي نسب التوفير	العام الثاني[٢]: إجمالي نسب التوفير	فترة سداد قيمة الإصلاح والمسح (بالأعوام)
١	٢٣٠٠٠	٧٣٤٤ دولار	١٨٨٠٠ دولار	١٧٨٥٠	٥٣٥٥٠ دولار	٢٦١٤٤ دولار	٢٧٤٠٦ دولار	٨٠٩٥٦ دولار	٠,٥
٢	٢٤٥٠٠	٩٢٨٧ دولار	١٦٠٠٠ دولار	١٦٤٥٠	٤٩٣٥٠ دولار	٢٥٢٨٧ دولار	٢٤٠٦٣ دولار	٧٣٤١٣ دولار	٠,٥
٣	٣٦٥٠	٣٠١٩ دولار	٣١٥ دولار	١٢٥٠	٣٧٥٠ دولار	٣٣٣٤ دولار	٤١٦ دولار	٤١٦٦ دولار	٠,٩
٤	٢٠٠٠٠٠	١٠٨٩٤ دولار	٤١٣٠٠ دولار	١٠٦٠٠٠	٣١٨٠٠٠ دولار	٥٢١٩٤ دولار	٢٦٥٨٠٦ دولار	٥٨٣٨٠٦ دولار	٠,٢
٥	٢٢٧٠٠	٩٣١٨ دولار	٢٠٧٠٠ دولار	٢٠٣٥٠	٦١٠٥٠ دولار	٣٠٠١٨ دولار	٣١٠٣٢ دولار	٩٢٠٨٢ دولار	٠,٥
٦	٤٨٤٠٠	٨٨٥٦ دولار	٣٤٢٠٠ دولار	٣٥٤٠٠	١٠٦٢٠٠ دولار	٤٣٠٥٦ دولار	٦٣١٤٤ دولار	١٦٩٣٤٤ دولار	٠,٤
٧	٥٦٥٠٠	٩٧٣٤ دولار	٣١٠٠٠ دولار	٤٩٦٠٠	١٤٨٨٠٠ دولار	٤٠٧٣٤ دولار	١٠٨٠٦٦ دولار	٢٥٦٨٦٦ دولار	٠,٣
٨	٧٥٠٠٠	٦٥٣٨ دولار	٥٠١٠٠ دولار	٦٦٠٠٠	١٩٨٠٠٠ دولار	٥٦٦٣٨ دولار	١٤١٣٦٢ دولار	٣٣٩٣٦٢ دولار	٠,٣
٩	١٦٣٥٠	٦٣٠٤ دولار	٤٦٥٠ دولار	١١٩٠٠	٣٥٧٠٠ دولار	١٠٩٥٤ دولار	٢٤٧٤٦ دولار	٦٠٤٤٦ دولار	٠,٣
١٠	٥٥٦٥٠	٥٣٠٩ دولار	٣٢٤٠٠ دولار	٥١٣٠٠	١٥٣٩٠٠ دولار	٣٧٧٠٩ دولار	١١٦١٩١ دولار	٢٧٠٠٩١ دولار	٠,٢٥
١١	٢٩٦٥	٦١٨١ دولار	٣٢٠ دولار	٦٢٠	١٨٦٠ دولار	٦٥٠١ دولار	(٤٦٤١) دولار	(٢٧٨١) دولار	٣,٥٣
١٢	٣٨٥	٣٤٧٣ دولار	١٠٠ دولار	٢٤٥	٧٣٥ دولار	٣٥٧٣ دولار	(٢٨٣٨) دولار	(٢١٠٣) دولار	٤,٩٣
١٣	٧٠٠٠	٣٤٧٣ دولار	١٦٠٠ دولار	٥٤٠٠	١٦٢٠٠ دولار	٥٠٧٣ دولار	١١١٢٧ دولار	٢٧٣٢٧ دولار	٠,٣
الإجمالي	٥٣٦١٠٠	٨٩٧٣٠ دولار	٢٥١٥٠٠ دولار	٣٨٢٣٦٥	١١٤٧٠٩٥ دولار	٣٤١٢١٥ دولار	٨٠٥٨٢٠ دولار	١٩٥٢٨٧٠ دولار	٠,٣٠
المتوسط	٤١٢٣٨	٦٩٠٢ دولار	١٩٣٤٦ دولار	٢٩٤١٣	٨٨٢٣٩ دولار	٢٦٢٤٨ دولار	٦١٩٩١ دولار	١٥٠٢٣٠ دولار	٠,٣٠

[١] بناءً على تكلفة مسح أساسية تقديرية تبلغ ٢,٥٥ دولار لكل مكون تم مسحه (بافتراض استخدام جهاز جمع عينات عالي التدفق وأجهزة قياس جريان دوارة لقياس التسرب).

[٢] تفترض أن فترة الإصلاح تقدر بعامين.

[٣] بالنسبة لهذه المحطة، يعتبر برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة الكامل بلا جدوى. ويجب بحث التغييرات بعملية المسح كما هو موضح في نهاية الخطوة الثالثة.

المصدر: شركة إنداكو لخدمات جودة الهواء (Indaco Air Quality Services, Inc.)، ١٩٩٩، تخفيف التسرب الفعال من حيث التكلفة في محطات ضاغطات نقل الغاز الطبيعي: تقرير رقم: بي آر سي - ٩٥٢٦-٢٤٦ (PRC- 246-9526)

الدروس المستفادة

الخطوة الرابعة: وضع خطة مسح لأعمال الفحص والصيانة الموجة (DI&M) المستقبلية. تتمثل الخطوة النهائية في برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) في وضع خطة مسح تستخدم نتائج عملية المسح الأولية الأساسية لممارسات الفحص والصيانة المباشرة المستقبلية. ويجب تصميم برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) وفقًا للاحتياجات وممارسات الصيانة الحالية الخاصة بالمرفق. كما يجب أن تتضمن أية خطة مسح فعالة لأعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) العناصر التالية:

- قائمة بالمكونات التي يجب فحصها واختبارها بالإضافة إلى مكونات المعدة التي يجب استبعادها من عملية المسح.
- أدوات وإجراءات قياس وفحص معدلات التسرب لتجميع وتسجيل وإدخال بيانات أعمال الفحص والصيانة الموجهة.
- جدول فحص وقياس معدلات التسرب.
- توجيهات اقتصادية بشأن إصلاح التسرب.
- نتائج وتحليل جهود الفحص والصيانة السابقة والتي ستقوم بتوجيه عملية المسح التالية لأعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M).

يجب على المشغلين وضع جدول مسح لأعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) يحقق نسب توفير في غاز الميثان بصورة فعالة من حيث التكلفة لأقصى درجة ويناسب أيضًا السمات الفريدة لأي مرفق (على سبيل المثال: عمر الضاغطات، عدد وحجم الضاغطات الترددية والتي تعمل بالطرد المركزي وضغط الخط وضغط غاز الوقود). يحدد بعض الشركاء عمليات مسح أعمال الفحص والصيانة الموجهة بناءً على الفترة المتوقعة لأعمال الإصلاح التي تم إجراؤها أثناء عملية المسح السابقة. بينما يبني بعض الشركاء معدل تكرار عمليات مسح المتابعة على دورات الصيانة أو توافر الموارد. وطالما أن برنامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) يتميز بالمرونة - إذا أظهرت عمليات المسح التالية كميات كبيرة لا حصر لها أو حالات متكررة من التسرب - يمكن للمشغل زيادة عدد مرات عمليات مسح متابعة أعمال الفحص والصيانة الموجهة. قد تركز عمليات مسح المتابعة على المكونات التي تم إصلاحها أثناء عمليات المسح السابقة أو أنواع المكونات المحددة الأكثر تعرضًا للتسرب. وبمرور الوقت يمكن للمشغلين الاستمرار في ضبط نطاق ومعدل تكرار عمليات المسح بمجرد ظهور نماذج التسرب.

نسبة التوفير المتوقعة

سوف تختلف نسب توفير الغاز المحتملة منذ تطبيق برامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة في محطات الضاغطات بالاعتماد على الحجم والعمر والمعدات والسمات التشغيلية لمحطات الضاغطات. وقد وجد شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي أن المصروفات الأولية لأية عملية مسح أساسية يتم استردادها سريعًا من خلال نسب توفير الغاز.

يقدم الملحق ٧ ثلاث تجارب للشركاء في تطبيق برامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة. يرجى الانتباه إلى أن معدل المزايا/التكاليف يكون إيجابيًا في كل حالة، ولكنه يختلف على نطاق واسع من ١,٧ : ١ إلى ٩٥ : ١.

الدروس المستفادة

الملحق ٧: تجربة شركاء ستار (STAR) لنقل الغاز الطبيعي	
الشركة أ: تم إجراء عملية مسح لخمس عشرة محطة ضاغطات سنويًا. وكان إجمالي تكاليف عمليات الإصلاح ومسح أعمال الفحص والصيانة قدرها ٣٥٠ دولار لكل محطة. وتم إيجاد مواضع التسرب بصفة عامة في صمامات الوحدات. وقد بلغت نسب توفير الغاز ١٦٦٠١٠ ألف قدم مكعب، بمتوسط ١١٠٦٧ ألف قدم مكعب لكل محطة.	
إجمالي نسب توفير الغاز	٤٩٨٠٣٠ دولار
إجمالي تكلفة عملية المسح وعمليات الإصلاح	٥٢٥٠ دولار
صافي نسب التوفير	**٤٩٢٧٨٠ دولار**
مزايا عام واحد/معدل التكاليف	١ : ٩٥
الشركة ب: تم إجراء عملية مسح لمحطتي ضاغطات بصورة ربع سنوية. وبلغ متوسط تكاليف أعمال المسح ٢٠٠ دولار لكل محطة. وتم إيجاد مواضع التسرب بصفة عامة عند حشوات ساق الصمام وموانع تسرب الأعمدة ومواضع تسرب حواف الأنابيب. ومن بين ٢٤ موضعًا للتسرب تم اكتشافها، تم إصلاح ٢٣ موضعًا بمتوسط تكلفة ٥٠ دولار. وبذلك بلغ إجمالي نسب التوفير ١٧٠٨٠ ألف قدم مكعب، بمتوسط ٨٥٤٠ ألف قدم مكعب لكل محطة.	
إجمالي نسب توفير الغاز	٥١٢٤٠ دولار
إجمالي تكاليف عملية المسح	١٦٠٠ دولار
إجمالي تكلفة عمليات الإصلاح	١١٥٠ دولار
صافي نسب التوفير	**٤٨٤٩٠ دولار**
مزايا عام واحد/معدل التكاليف	١ : ١٩
الشركة ج: تم إجراء عملية مسح لست وسبعين محطة ضاغط (وقد اشتمل جدول عملية المسح على عمليات مسح ربع سنوية وعمليات مسح سنوية، بالاعتماد على المحطة). وتم إيجاد مواضع التسرب بصفة عامة عند الحشوات والتجهيزات غير المربوطة بإحكام وكذلك عند صمامات الضاغطات والحشوات. وتم إجراء ما يقرب من ١١٥٠ عملية إصلاح. وبلغ إجمالي نسب توفير الغاز ١٣٢٥٨٥ ألف قدم مكعب، بمتوسط ١٩٧٨ ألف قدم مكعب لكل محطة.	
إجمالي نسب توفير الغاز	٣٩٧٧٥٥ دولار
إجمالي تكاليف عملية المسح	١٧٦١٧٥ دولار
إجمالي تكلفة عمليات الإصلاح	٥٧١٨٠ دولار
صافي نسب التوفير	**١٦٤٤٠٠ دولار**
مزايا عام واحد/معدل التكاليف	١ : ١,٧
مع افتراض أن سعر الغاز ٣ دولار/ألف قدم مكعب.	

الدروس المستفادة

الدروس المستفادة

قد تساهم برامج أعمال الفحص والصيانة الموجهة في خفض تكاليف عمليات المسح وتعزيز أعمال إصلاح مواضع التسرب الهامة. ويؤدي استهداف المحطات والمكونات التي تعاني من مشكلات إلى توفير الوقت والمال اللازم لعمليات المسح المستقبلية والمساعدة على تحديد الأولويات بالنسبة لجدول إصلاح مواضع التسرب. وتنحصر الدروس الأساسية المستفادة من شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي فيما يلي:

- ★ يساهم عدد صغير نسبيًا من مواضع التسرب الكبيرة في غالبية الانبعاثات الانفلاتية لمحطات الضاغطات.
- ★ إن فحص نسب التركيز لا يحدد بدقة أكبر مواضع التسرب ولا يقدم المعلومات اللازمة لتحديد مواضع التسرب التي يمكن إصلاحها بصورة فعالة من حيث التكلفة. ويجب استخدام طرق قياس التسرب الفعالة للحصول على بيانات دقيقة عن معدل التسرب.
- ★ سوف يستهدف أي برنامج فعال من حيث التكلفة خاص بأعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) المكونات الأكثر احتمالاً للتعرض للتسرب والتي يمكن إصلاحها بصورة اقتصادية.
- ★ وقد وجد شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي أيضًا أن بعض محطات الضاغطات معرضة للتسريب بشكل أكبر من بعض المحطات الأخرى. وقد يوضح تعقب نتائج أعمال الفحص والصيانة الموجهة (DI&M) أن هناك بعض محطات الضاغطات التي تحتاج إلى المزيد من عمليات مسح المتابعة بالمقارنة بمحطات أخرى.
- ★ وقد وجد الشركاء أيضًا أنه من المفيد البحث عن بعض الاتجاهات وطرح أسئلة مثل: "هل تقوم الصمامات البوابية بالتسريب بشكل أكبر من الصمامات الكروية؟" و"هل تقوم إحدى المحطات بالتسريب بشكل أكبر من محطات أخرى؟"
- ★ يؤكد إعادة فحص المكونات المسربة بعد إجراء عملية الإصلاح على مدى فعالية عملية الإصلاح. وثمة طريقة سريعة لفحص مدى فعالية عملية إصلاح ما، وهي استخدام طريق الفحص بالصابون.
- ★ بدء خطوة "إصلاح سريع" تتضمن إجراء بعض عمليات الإصلاح البسيطة لبعض المشكلات البسيطة (على سبيل المثال: الصامولة غير المربوطة بإحكام والصمام غير المغلق بشكل كامل) أثناء عملية المسح.
- ★ وضع نظام لإصلاح مواضع التسرب الأكثر خطورة أولاً، مع إجراء عملية إصلاح لأقل مواضع التسرب في إطار عمليات منتظمة من التشغيل والصيانة الموجهة (O&M).
- ★ تركيز عمليات المسح المستقبلية على المحطات والمكونات الأكثر تسريبًا.
- ★ تسجيل عمليات خفض انبعاثات غاز الميثان في كل محطة ضاغط وضم عمليات الانخفاض السنوية في تقارير برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي.

الدروس المستفادة

المراجع

باسكوم ترنر (Bascom-Turner) للأجهزة، اتصال شخصي

فوكس بورو (Foxboro) للمنتجات البيئية، اتصال شخصي

معهد تكنولوجيا الغاز (معهد أبحاث الغاز سابقًا)، اتصال شخصي

كارولين هندرسون، برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي، إي بي إيه الأمريكية (U.S. EPA)، اتصال شخصي

توش هوارد، إنداكو لخدمات جودة الهواء، اتصال شخصي

إنداكو لخدمات جودة الهواء، ١٩٩٥، نظام جمع عينات لمعدل التدفق العالي لقياس معدلات التسرب في مرافق الغاز الطبيعي. تقرير رقم: جي آر آي- ٠٢٥٧/٩٤ ٣٨ (GRI-94/0257.38)، معهد تكنولوجيا الغاز، شيكاجو، إلينوا.

إنداكو لخدمات جودة الهواء، ١٩٩٥، قياسات معدل التسرب في محطات ضاغطات نقل الغاز الطبيعي الأمريكية. تقرير رقم: جي آر آي- ٠٢٥٧/٩٤ ٣٧ (GRI-94/0257.37)، معهد تكنولوجيا الغاز، شيكاجو، إلينوا.

إنداكو لخدمات جودة الهواء، ١٩٩٩، تخفيف التسرب الفعال من حيث التكلفة بمحطات ضاغطات نقل الغاز الطبيعي. تقرير رقم: بي آر سي-٩٥٢٦-٢٤٦ (PRC-246-9526) بي آر سي إنترناشيونال (PRC International) (تقرير مقدم من هيئة الغاز الأمريكية، أريلنجتون، فيرجينيا).

شركة كينج للأجهزة، اتصال شخصي

شركة أوميجا الهندسية، اتصال شخصي

شركة الصوتيات الفيزيائية، اتصال شخصي

راديان إنترناشيونال، ١٩٩٦، انبعاثات الغاز من صناعة الغاز الطبيعي، المجلد الثاني، التقرير الفني، رقم التقرير جي آر أي ٠٢٥٧/٩٤ ١ (GRI-94/0257.1)، معهد تكنولوجيا المعلومات، شيكاغو، إلينوا.

راديان إنترناشيونال، ١٩٩٦، انبعاثات الغاز من صناعة الغاز الطبيعي، المجلد الثامن، مواضع تسرب المعدات، رقم التقرير جي آر أي ٠٢٥٧/٩٤ ١ (GRI-94/0257.1)، معهد تكنولوجيا المعلومات، شيكاغو، إلينوا.

ثيرمو للأجهزة البيئية، اتصال شخصي

كيفين تيجلي، دليل تنفيذي وملخص لمحطات الغاز الطبيعي التابعة لمؤسسة إي بي إيه الأمريكية (U.S. EPA) لبرنامج تي إيه آر (TAR)، اتصال شخصي.

شركة يو إي للأنظمة، اتصال شخصي

هيئة الحماية البيئية الأمريكية، ١٩٩٤ - ٢٠٠١، برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي، تقارير الشركاء السنوية.

هيئة الحماية البيئية الأمريكية، ١٩٩٥، مخلص ودليل تنفيذي لبرنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي لشركاء النقل والتوزيع.

الدروس المستفادة

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

EPA xxx
xxx 2006

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

EPA xxx
٢٠٠٦ xxx