المبادئ
التوجيهية لغاز
الميثان

الحد من انبعاثات غاز الميثان:
دليل أفضل الممارسات
الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط

نوفمبر ٢٠١٩

المبادئ
التوجيهية لغاز
الميثان

الحد من انبعاثات غاز الميثان:
دليل أفضل الممارسات
الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط

نوفمبر ٢٠١٩

إخلاء المسؤولية

تم تطوير هذا المستند بواسطة شراكة المبادئ التوجيهية لغاز الميثان. توفر كل خلاصة ملخصاً لعمليات التقليل المعروفة حالياً، والتكاليف، والتقنيات المتاحة بالنسبة لتاريخ النشر، ولكنهم قد يتغيرون أو قد يتم تحسينهم مع مرور الوقت. المعلومات المضمنة دقيقة على حد علم المؤلفين، ولكنها لا تعكس بالضرورة وجهات نظر أو مواقف جميع الأطراف الموقعة أو المنظمات الداعمة لشراكة المبادئ التوجيهية لغاز الميثان، وسيحتاج القراء إلى إجراء تقييمهم الخاص للمعلومات المقدمة. لا يتم منح أي ضمان للقراء بخصوص اكتمال أودقة المعلومات المضمنة في كل ملخص بواسطة مؤسسة إس إل آر الدولية ومقاوليها، وشراكة المبادئ التوجيهية لغاز الميثان أو الجهات الموقعة أو المنظمات الداعمة لها.

يصف هذا الدليل الإجراءات التي يمكن أن تتخذها المنظمات للمساعدة في إدارة انبعاثات الميثان.
أي إجراءات أو توصيات ليست إلزامية؛ إنهم ببساطة وسائل فعالة للمساعدة في إدارة انبعاثات الميثان. قد تكون الأساليب الأخرى فعالة بنفس القدر، أو أكثر فاعلية في موقف معين. إن ما يختار القراء القيام به يعتمد في الغالب على الظروف والمخاطر المحددة تحت الإدارة والنظام القانوني المعمول به.

المحتويات

الملخص ٢

المقدمة ٣

تحديد كمية الانبعاثات ٤

استراتيجيات التخفيف ٨

قائمة التحقق ١٣

الملحق ١ ..... ١٤

الملحق ٢ ..... ١٥

المراجع ١٦

الملخص

في صناعة النفط والغاز، تعد الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط أحد أكبر مصادر انبعاثات غاز الميثان.

يحدد هذا المستند الطرق وأفضل الممارسات في تقليل أو إزالة انبعاثات الميثان من تلك الأجهزة.

يمكن تقليل انبعاثات الميثان من الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط أو القضاء عليها من خلال:

- استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بمضخات أو وحدات تحكم كهربائية ؛
- استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة تحكم ميكانيكية.
- استخدام الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي لتشغيل هذه الأجهزة.
- استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط "عالية الاستنزاف" بأجهزة متقطعة أو "منخفضة الاستنزاف ".
- فحص الأجهزة التي تحتوي على انبعاثات أعلى من المتوقع وإصلاحها.

يلخص الجدول أدناه أفضل الممارسات لتقليل انبعاثات الميثان من الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط.

أفضل الممارسات للحد من انبعاثات غاز الميثان من خلال الإصلاحات أثناء التشغيل
الاحتفاظ بسجل دقيق للأجهزة التي تعمل بالغاز الطبيعي المضغوط المنتج من الآبار.
استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة كهربائية أو ميكانيكية حيثما كان ذلك عمليًا.
إذا كان لابد من استخدام هذه الأجهزة، فاختر الأجهزة التي تستخدم الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي.
إذا كان استخدام الأجهزة التي تعمل بالغاز الطبيعي هو الخيار الأفضل، فاستبدل الأجهزة عالية الانبعاثات ببدائل ذات انبعاثات أقل.
إدراج أي أجهزة تعمل بالغاز الطبيعي في برنامج الفحص والصيانة الرسمي وتسجيل الانبعاثات في السجل السنوي.

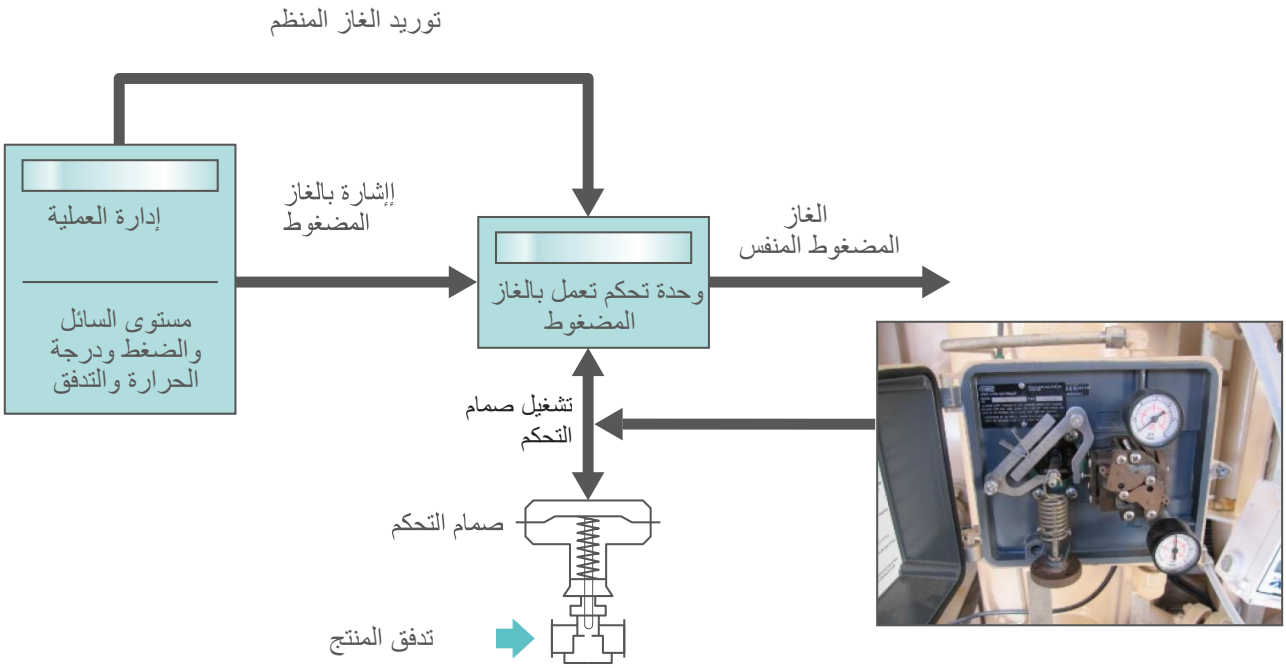
المقدمة

يتم استخدام الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بشكل رئيسي في حالة عدم توفر الطاقة الكهربائية.

النوعان الرئيسيان من تلك الأجهزة المستخدمة في صناعة النفط والغاز هما وحدات التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط والمضخات التي تعمل بالغاز المضغوط.

- وحدات التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط هي آليات تتحكم في الظروف مثل المستويات ودرجات الحرارة والضغط. عندما تكتشف وحدة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط الحاجة إلى تغيير مستوى السائل أو الضغط أو درجة الحرارة أو التدفق، فإنها تفتح أو تغلق صمام التحكم. كما هو موضح في الرسم البياني أدناه، يمكن لجهاز التحكم الذي يعمل بالغاز المضغوط فتح أو إغلاق الصمام عن طريق توجيه الغاز المضغوط إلى صمام التحكم. يتم تنفيس الغاز الطبيعي المستخدم لتشغيل وحدة التحكم بشكل متواصل أو تنفيسه بشكل متقطع اعتمادًا على تصميم الجهاز.
- تستخدم المضخات التي تعمل بالغاز المضغوط لحقن المواد الكيميائية في الآبار وخطوط الأنابيب وللتدوير في وحدات التجفيف بالجليكول حيث يتم إزالة الماء من الغاز الطبيعي. قد يتم تنفيس الغاز الطبيعي المستخدم في تشغيل المضخة أثناء تشغيلها.

يتم استخدام الملايين من الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط ، معظمها وحدات تحكم تعمل بالغاز المضغوط، في صناعة النفط والغاز. عند تشغيل هذه الأجهزة باستخدام الغاز الطبيعي، قد تكون أحد أكبر مصادر انبعاثات الميثان في سلاسل إمدادات النفط والغاز الطبيعي. على سبيل المثال، في الولايات المتحدة، تعد الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط المصدر الرئيسي لانبعاثات غاز الميثان الناتجة عن صناعة النفط والغاز، وحوالي ٩٧٪ من هذه الانبعاثات ناتجة عن وحدات تحكم تعمل بالغاز المضغوط.[١]



الشكل ١: وحدة تحكم تعمل بالغاز المضغوط

تحديد كمية الانبعاثات

- يمكن قياس الانبعاثات الصادرة من الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بضرب العدد الإجمالي للأجهزة في متوسط الانبعاثات الصادرة من الجهاز. تختلف الانبعاثات اعتمادًا على تصميم الجهاز، لذلك غالبًا ما يتم تقسيم المعدات التي تعمل بالغاز المضغوط إلى فئات. الفئات الشائعة لأجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط هي عالية الاستنزاف ، ومنخفضة الاستنزاف، والتنفيس المتقطع.
- يمكن أن تختلف الانبعاثات على نطاق واسع حتى بالنسبة للأجهزة المتطابقة في التصميم، اعتمادًا على كيفية استخدامها وما إذا كانت تعمل بشكل صحيح.

يتم تحديد إجمالي الانبعاثات من المضخات التي تعمل بالغاز المضغوط بشكل عام بضرب عدد المضخات في الانبعاثات المقدرة أو المقاسة من مضخة واحدة، كما هو موضح أعلاه.

يمكن قياس الانبعاثات من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط بنفس الطريقة. ومع ذلك، نظرًا للعدد الكبير من أدوات التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط المستخدمة، والاختلافات في الانبعاثات المرتبطة بالتصاميم المختلفة، تُستخدم طرق مختلفة بشكل عام لتحديد انبعاثات أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط ، كما هو موضح في الجدول أدناه.

في الجدول أدناه، يُشار إلى عدد الأجهزة بعامل النشاط، ويُشار إلى مستوى الانبعاثات من الجهاز بعامل الانبعاث. يلخص الجدول أنواع عوامل النشاط و عوامل الانبعاث ذات الصلة المستخدمة لتقدير الانبعاثات.

تصنف وكالة حماية البيئة الأمريكية (US EPA) التصميمات المختلفة لوحدة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط على النحو التالي:

- أجهزة ذات تنفيس متقطع؛
- أجهزة ذات تنفيس مستمر منخفضة الاستنزاف ؛
- أجهزة ذات تنفيس مستمر عالية الاستنزاف؛
- وأجهزة عديمة الاستنزاف.

وحدات التحكم ذات التنفيس المتقطع هي أجهزة ' ذات أداء خاطف' لا تنفس إلا عند استيفاء شرط معين. تعد هذه الأجهزة أكثر أنواع أجهزة التحكم شيوعًا المستخدمة في صناعة النفط والغاز.

أجهزة التحكم ذات التنفيس المستمر تستخدم ضغط الغاز لاستشعار ظروف عملية التشغيل.
يتدفق الغاز إلى وحدة التحكم في الصمام بشكل مستمر ثم ينفس (يستنزف) في الغلاف الجوي (أي يتم إطلاقه في الغلاف الجوي).

- إذا كان معدل الاستنزاف المصمم أقل من ٠,١٧ متر مكعب قياسي في الساعة (م^3/ساعة)
  - ما يعادل ستة أقدام مكعبة قياسية في الساعة (قدم^3/ساعة) - فالجهاز منخفض الاستنزاف.
- إذا كان معدل الاستنزاف المصمم ٠,١٧ م^3/ساعة أو أكثر، فهذا يعني أن الجهاز عالي الاستنزاف.

تعمل **أجهزة التحكم عديمة الاستنزاف** على تحويل (حقن) الغاز المنفس إلى الغاز الناتج من البئر، وليس إلى الغلاف الجوي.
يوضح الجدول أدناه مدى انتشار كل نوع من الأجهزة المستخدمة في صناعة النفط والغاز في الولايات المتحدة، ومتوسط الانبعاثات لكل جهاز تستخدمه وكالة حماية البيئة الأمريكية عند تحديد كمية الانبعاثات من الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط.

	نسبة جميع الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط المستخدمة في صناعة النفط والغاز الأمريكية (وفقًا لسجل غازات الاحتباس الحراري الصادر من وكالة حماية البيئة الأمريكية لعام ٢٠١٧)[١]	متوسط انبعاث الغازات الكاملة لكل جهاز[٢*]
إنتاج النفط والغاز		
مضخات تعمل بالغاز المضغوط	٨٪	٠,٥٢٦ م^3/ساعة (آلية الحاجز) ٠,٠٥٧٥ م^3/ساعة (آلية المكبس)
أجهزة تحكم ذات تنفيس متقطع	٦٩٪	٠,٣٨٢ م^3/ساعة
أجهزة تحكم ذات تنفيس مستمر منخفضة الاستنزاف	٢١٪	٠,٠٣٩٤ م^3/ساعة
أجهزة ذات تنفيس مستمر عالية الاستنزاف	٢٪	١,٠٦ م^3/ساعة
نقل الغاز وتخزينه		
أجهزة تحكم ذات تنفيس متقطع	٨٦٪	٠,٠٦٦٦ م^3/ساعة
أجهزة تحكم ذات تنفيس مستمر منخفضة الاستنزاف	٧,٥٪	٠,٠٣٨٨ م^3/ساعة
أجهزة ذات تنفيس مستمر عالية الاستنزاف	٦,٥٪	٠,٥١٦ م^3/ساعة

* تُحسب انبعاثات الميثان بضرب معدل انبعاث الغاز في جزء حجم الميثان في الغاز

لأن أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط هي مصدر كبير لانبعاثات الميثان من صناعة النفط والغاز[١] تم نشر عدد كبير نسبيًا من الدراسات حول الانبعاثات من أجهزة التحكم. وترد تفاصيل الدراسات الحديثة في الملحق ١ [٣،٤،٥،٦،٧،٨،٩].

الاستنتاجات الرئيسية من تلك الدراسات تشمل ما يلي.

- كانت نسبة صغيرة نسبيًا من أجهزة التحكم مسؤولة عن الانبعاثات المحددة. على سبيل المثال، في مواقع الإنتاج التي تمت دراستها في الولايات المتحدة ، حوالي ٩٥٪ من الانبعاثات المقاسة من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط نشأت من أقل من ٢٠٪ من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط[٦].

- قد لا تعمل بعض وحدات التحكم التي تنتج انبعاثات أعلى من المتوقع بشكل صحيح ، وقد يتم استبدالها أو إصلاحها لتقليل معدل الانبعاث.
- معدلات الانبعاث من وحدات التحكم ذات التنفيس المتقطع تعتمد على عدد المرات التي يتم فيها تشغيل الآلية لإطلاق الغاز.
- يمكن لأجهزة التحكم التبديل بين معدلات الانبعاث المنخفضة نسبيًا ومعدلات الانبعاث المرتفعة نسبيًا ، ولكن أسباب ذلك ليست مفهومة جيدًا. [٩]

لهذه النتائج الأخيرة آثار مهمة على كل من تحديد كمية الانبعاثات وتصميم استراتيجيات لإيجاد (طرق للحد من الانبعاثات). على سبيل المثال، وجدت دراسة [6] أن حوالي ١٦٪ من وحدات التحكم ذات الاستنزاف المنخفض لديها معدلات انبعاث تزيد عن ٠,٥٦٧ م^3/ساعة (٢٠ م^3/ساعة)، وهو أعلى من حد انبعاثات وكالة حماية البيئة لوحدات التحكم ذات الاستنزاف المنخفض. إذا أمكن تحديد وحدات التحكم منخفضة الاستنزاف ذات معدلات انبعاث مرتفعة ثم إصلاحها أو استبدالها، يمكن تقليل إجمالي الانبعاثات الناتجة عن وحدات التحكم ذات الاستنزاف المنخفض بأكثر من النصف. وبالمثل، وجدت الدراسات [٦] أن ٨٣٪ من وحدات التحكم ذات التنفيس المتقطع كانت معدلات انبعاثها أقل من ٠,٠٥٦٧ م^3/ساعة (٢ قدم^3/ساعة) و ٧٪ كانت معدلات انبعاثها تزيد عن ٠,٥٦٧ م^3/ساعة ، وأن النسبة المتبقية ١٠٪ كانت معدلات انبعاثها بين ٠,٠٥٦٧ م^3/ساعة و ٠,٥٦٧ م^3/ساعة. مرة أخرى، قد يؤدي تحديد وإصلاح أو استبدال الأجهزة ذات معدلات الإنبعاثات العالية إلى تقليل الانبعاثات.

نظرًا لأن أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط، حتى من نفس نوع التصميم، يمكن أن يكون لها معدلات انبعاث أقل (أقل من ٠,١٧ م^3/ساعة) أو معدلات انبعاث أعلى (٠,١٧ م^3/ساعة أو أكثر)، عند تحديد معدلات الانبعاث، قد يكون أكثر دقة تحديد متوسط معدلات الانبعاث لوحدات التحكم ذات الانبعاث المرتفع والمنخفض (ينطبق هذا فقط على وحدات التحكم ذات التنفيس المتقطع وذات الاستنزاف المنخفض، حيث أن جميع وحدات التحكم عالية الاستنزاف لها معدلات انبعاث عالية) ثم يحدد، من خلال القياسات، جزء وحدات التحكم التي لديها معدلات انبعاث أعلى و الجزء الذي يحتوي على معدلات انبعاث أقل.

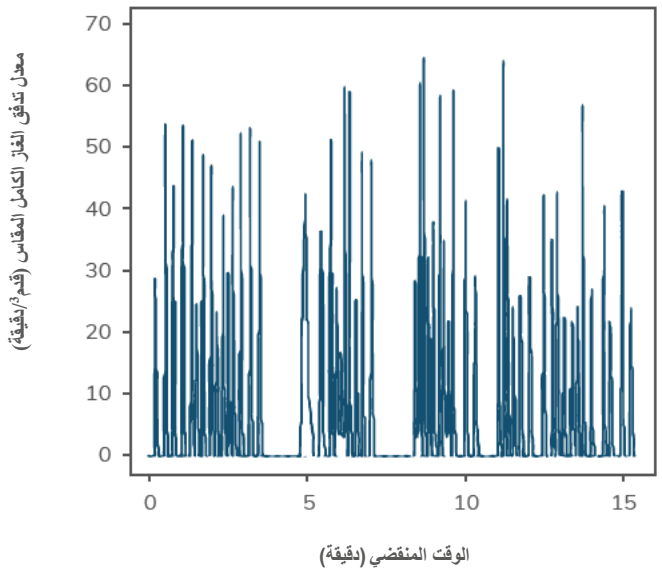
ومع ذلك، يمكن أن يكون التفريق صعباً بين:

- أجهزة التحكم التي لديها معدلات انبعاث عالية ولا تعمل بشكل صحيح. و
- أجهزة التحكم التي تعمل بشكل صحيح ولكن لديها معدلات انبعاث أعلى من المتوقع.

الرسوم البيانية أدناه لاثنين من وحدات التحكم ذات التنفيس المتقطع التي لها معدلات انبعاث متشابهة جدًا. يوضح الشكل ٢ أ أن الجهاز الأول يبدو أنه يعمل بشكل طبيعي، مع تنفيس متكرر سريع للغاية ومعدل انبعاث يعود بسرعة إلى الصفر. يوضح الشكل

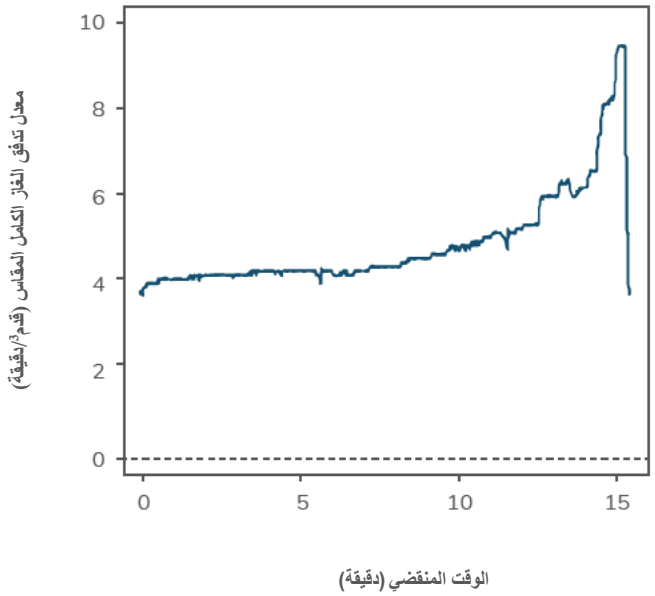
٢ ب أن آلية التنفيس للجهاز الثاني لا تتفاعل على الفور (تستغرق عدة دقائق) وأن معدل الانبعاث لا يعود أبدًا إلى الصفر. نمط التنفيس هذا غير طبيعي، مما يشير إلى أن الجهاز لا يعمل بشكل صحيح.

الشكل ٢ أ: معدل تدفق الغاز مقابل الوقت لوحدة تحكم ذات تنفيس متقطع تعمل بشكل طبيعي



المصدر: المرجع[٦]

الشكل ٢ ب: معدل تدفق الغاز مقابل الوقت لوحدة تحكم ذات تنفيس متقطع معيبة



المصدر: المرجع[٦]

اقترحت دراسة حديثة[9] أنه يجب اعتبار أجهزة التحكم ذات التنفيس المتقطع أنها لا تعمل بشكل صحيح إذا:

- كان التنفيس بطيئًا وتدريجيًا بدلاً من إطلاقه على الفور؛
- كان هناك تنفيس مستمر أو عدم وجود حالات مختلفة للتنفيس؛
- لا تعود الانبعاثات إلى الصفر بين حالات التنفيس، أو
- وجود أي سلوك آخر غير منتظم.

اقترحت نفس الدراسة[9] ما يلي:

- يجب اعتبار الأجهزة ذات الاستنزاف المنخفض أنها لا تعمل بشكل صحيح إذا كانت معدلات انبعاثها يبلغ ٠,١٧ م^3/ساعة أو أكثر؛ و
- يجب اعتبار الأجهزة عالية الاستنزاف أنها لا تعمل بشكل صحيح إذا كانت معدلات انبعاثها أعلى من مواصفات الشركة المصنعة.

استراتيجيات التخفيف

- يمكن تقليل الانبعاثات عن طريق استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة كهربائية أو ميكانيكية.
- إذا كان لابد من استخدام أجهزة تعمل بالغاز المضغوط، فيمكن تقليل انبعاثات الميثان أو القضاء عليها من خلال استراتيجيات التخفيف التالية.
  - استخدام الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي لتشغيل الجهاز
  - استبدال الأجهزة عالية الاستنزاف بتصميمات منخفضة الاستنزاف أو عديمة الانبعاثات
  - إصلاح أو استبدال الأجهزة التي لا تعمل بشكل صحيح
- لأن استراتيجيات التخفيف تمنع أو تقلل من فقدان الغاز الطبيعي، يمكن لبعضها أن تغطي تكاليفها في غضون شهر أو شهرين، بينما يمكن لغيرهم تغطية التكلفة في غضون سنوات.

تتدرج استراتيجيات تخفيف الانبعاثات هذه من منع الانبعاثات، إلى تقليل الانبعاثات، إلى تحديد وإصلاح الأجهزة التي لا تعمل بشكل صحيح. تم تلخيص استراتيجيات التخفيف في الجدول أدناه، وترد أوصاف أكثر تفصيلاً في الصفحات التالية. تتوفر روابط لمزيد من المعلومات في الملحق ٢.

استراتيجية التخفيف	الوصف
١. استبدال الأجهزة عالية الاستنزاف بأجهزة منخفضة الاستنزاف أو عديمة الاستنزاف	١ أ. استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة كهربائية أو بأجهزة تعمل بالطاقة الشمسية.
	١ ب. استبدال أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة تحكم ميكانيكية.
	١ ت. استبدال الأجهزة عالية الاستنزاف بأجهزة ذات تنفيس متقطع أو منخفضة الاستنزاف.
٢. استخدام الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي لتشغيل هذه الأجهزة. استخدام الهواء المضغوط المتولد في الموقع لتشغيل الأجهزة.	استخدام الهواء المضغوط المتولد في الموقع لتشغيل الأجهزة.
٣. إجراء عمليات تفتيش منتظمة وإصلاح أو استبدال عناصر عند الضرورة.	قد تكون نسبة صغيرة من أجهزة التحكم التي لا تعمل بشكل صحيح مسؤولة عن العديد من انبعاثات الميثان المرتبطة بوحدات التحكم. إذا أمكن تحديد وحدات التحكم ذات الانبعاثات العالية بسبب الأعطال فيمكن إصلاحها أو استبدالها.

لأن استراتيجيات التخفيف تمنع أو تقلل من فقدان الغاز الطبيعي، يمكن للبعض أن يسترجع ثمنها في غضون شهر أو شهرين، بينما يمكن للآخرين تغطية التكلفة في غضون سنوات.

استراتيجية التخفيف 1 أ: استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة كهربائية أو بأجهزة تعمل بالطاقة الشمسية[١٠]

في المواقع النائية حيث لا تتوفر الكهرباء بسهولة، غالبًا ما يستخدم الغاز الطبيعي المضغوط لتشغيل مضخات التدوير في وحدات تجفيف الجليكول ومضخات الحقن الكيميائي المستخدمة لحقن المواد الكيميائية في الآبار وخطوط التدفق. تستخدم مضخات الحقن الكيميائي عمومًا الغاز الطبيعي وتنفسه بمعدلات منخفضة نسبيًا (حوالي ١٠ أمتار مكعبة من الغاز الطبيعي يوميًا لمضخات حقن الميثانول في مواقع الآبار)، بينما قد تعمل مضخات التدوير في وحدات تجفيف الجليكول بمئات الأمتار المكعبة من الغاز الطبيعي في اليوم.

يمكن استبدال كلا النوعين من المضخات بما يلي:

- مضخات كهربائية قياسية، في حالة توفر مصدر كهرباء. أو
- مضخات ا تعمل بالطاقة الشمسية، إذا كان هناك ضوء شمس كافي و وحدة البطارية تخزن الطاقة الشمسية في حالة عدم وجود ضوء شمس، بحيث يمكن تشغيل المضخات بشكل مستمر.

وبالمثل، يمكن استبدال أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة كهربائية حيث تتوفر الكهرباء.

الشكل ٣ ب: مضخة كيميائية تعمل بالطاقة شمسية

المصدر: BP

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

أفاد شركاء برنامج ستار للغاز الطبيعي أن استبدال مضخات الدوران التي تعمل بالغاز المضغوط بمضخة كهربائية ذات ٣ (قدرة حصانية) قلل الغاز المنفس بمقدار ١٠٠،٠٠٠ إلى ٢٠٠،٠٠٠ متر مكعب قياسي سنويًا.

مع أسعار كهرباء في حدود ٠,٠٧٥ دولارًا أمريكيًا للكيلوواط/ساعة وغاز بقيمة تتراوح بين ٠,١٤ دولارًا أمريكيًا و ٠,٢٥ دولارًا أمريكيًا لكل متر مكعب، قد تسترد الإستراتيجية قيمتها من خلال المدخرات الاقتصادية في غضون بضعة أشهر.

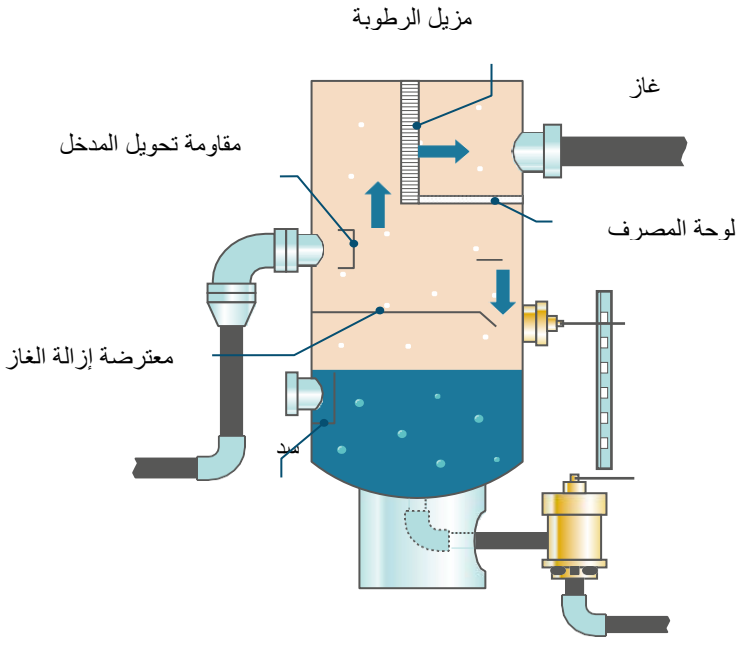
إستراتيجية التخفيف 1 ب: استبدال وحدات التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط بوحدات تحكم ميكانيكية [11]

يمكن استبدال وحدات التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة تحكم ميكانيكية. كما هو موضح في تقرير الفرصة لشركاء ستار للغاز الطبيعي[١١]، في الآبار ذات الضغط المنخفض والحجم المنخفض، تم تركيب صمامات التفريغ الميكانيكية، بدلاً من صمامات التفريغ التي تعمل بالغاز المضغوط، على فواصل رأسية. كما تم استخدام أدوات التحكم الميكانيكية في مرافق التجفيف في منتصف عملية النقل.

يتطلب فاصل التدفق العالي والضغط العالي أن يتم خنق صمام التفريغ باستمرار. مع انخفاض إنتاج البئر، وانخفاض الضغط وإنتاج السوائل، يمكن التخلص من الحاجة إلى آليات التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط.

تستخدم أجهزة التحكم الميكانيكية عوامة على سطح السائل في أجهزة فصل الغاز عن السائل (انظر الرسم البياني أدناه). رابط ميكانيكي من العوامة يفتح ويغلق صمام التفريغ. الصيانة الوحيدة المطلوبة هي تنظيف وتشحيم الوصلة الميكانيكية.

الشكل ٤: فاصل مع تفريغ ميكانيكي



تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

يعتمد تقليل الانبعاثات والقيمة الاقتصادية للتخفيض على نوع وحدة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط التي يتم استبدالها وحجم السائل المنتج أثناء عملية التشغيل. يمكن لوحدة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط ذات الاستنزاف العالي أن تنفس ما يقرب من ١٠،٠٠٠ متر مكعب من الغاز سنويًا.

أبلغ شركاء برنامج ستار للغاز الطبيعي[١١] عن تكاليف معدات وتركيبات تبلغ ٣٠٠٠ دولار أمريكي لكل وحدة تحكم. مع قيمة غاز تتراوح بين ٠,١٤ دولار أمريكي لكل متر مكعب و ٠,٢٦ دولار أمريكي لكل متر مكعب ، قد تدفع الإستراتيجية تكاليفها في غضون ٢٠ إلى ٣٠ شهرًا.

استراتيجية التخفيف ١ ج: استخدام الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي لتشغيل الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط[١٢]

يمكن أن يؤدي استخدام الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي المضغوط لتشغيل الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط إلى القضاء على انبعاثات الميثان من التنفيس. نظرًا لتكلفة أنظمة الهواء المضغوط، يتم استخدامها في الغالب في المواقع التي يتم فيها استخدام حجم كبير نسبيًا من الغازات المضغوطة.

تتكون أنظمة الهواء المضغوط عادةً من ضاغط ومصدر طاقة وجهاز تجفيف وخزان غاز.

يتم تشغيل الضواغط بشكل متقطع للحفاظ على ضغط الغاز في خزان التخزين. عادة ما يتم تشغيلهم بالكهرباء. في المواقع التي لا توجد بها طاقة كهربائية، يمكن استخدام ضواغط الهواء التي تعمل بالطاقة الشمسية.

يعتبر جهاز التجفيف جزءًا حيويًا من نظام الهواء المضغوط. يمكن أن يتكثف بخار الماء في الهواء عندما يكون الهواء مضغوطًا. إذا لم يتم تجفيف الهواء (لإزالة بخار الماء)، فقد يتسبب التكثف في حدوث تآكل في الأنابيب.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

استبدال الغاز الطبيعي المضغوط بهواء مضغوط يزيل تمامًا انبعاثات الميثان من الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط.

أفاد شركاء برنامج ستار للغاز الطبيعي[١٢] أنه يجب تصميم أنظمة الهواء المضغوط لتوفير ١,٧ متر مكعب في الساعة (1 قدم مكعب في الدقيقة) من الهواء المضغوط لكل وحدة تحكم، ويجب أن تكون الضواغط مصممة بحجم مناسب بحيث يكون الهواء الذي يتم تسليمه إلى وحدات التحكم حوالي ثلثي حجم الهواء الجوي المسحوب إلى الضاغط.

أبلغ شركاء برنامج ستار للغاز الطبيعي[١٢] عن أنظمة توفر من ٦٠ مترًا مكعبًا قياسياً إلى أكثر من ١٥٠٠ متر مكعب قياسي في الساعة من الهواء المضغوط، لتحل محل نفس حجم الغاز الطبيعي الذي كان من الممكن استخدامه لولا ذلك. استنادًا إلى أن سعر الغاز الطبيعي يبلغ 0.25 دولارًا لكل متر مكعب ، يمكن لنظام الهواء المضغوط أن يدفع تكاليفه في غضون شهرين إلى سبعة أشهر.

استراتيجية التخفيف ٢: استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط عالية الاستنزاف بأجهزة منخفضة الاستنزاف أو ذات تنفيس متقطع[١٢]

عادةً ما يكون لأجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط عالية الاستنزاف معدلات تنفيس تزيد عن ١ سم في الساعة، مما يؤدي إلى فقد غاز التنفيس بقيمة تزيد عن ١٠٠٠ دولار أمريكي سنويًا من كل جهاز، مع غاز بقيمة ٠,١٤ دولار أمريكي لكل متر مكعب، يمكن أن يؤدي الاستبدال بوحدات تحكم منخفضة الاستنزاف وذات تنفيس متقطع، والتي يبلغ متوسط معدلات التنفيس فيها بين ٠,٠٣ سم/ساعة و ٠,٤ سم/ساعة، إلى تقليل انبعاثات الميثان وغاز التنفيس المفقود بشكل كبير.

في الولايات المتحدة، لم يعد من الممكن تركيب الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط عالية الاستنزاف للمنشآت الجديدة والمعدلة. تتطلب اللوائح في بعض المناطق استبدال الأجهزة عالية الاستنزاف، مع استثناءات قليلة فقط. بعض المنظمات اختارت اعتماد هذه السياسة عبر جميع المواقع، وليس فقط المواقع الجديدة والمعدلة.

يمكن لأجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط عالية الاستنزاف توفير أوقات استجابة سريعة. ومع ذلك، عندما لا يكون وقت الاستجابة السريع ضروريًا، يمكن استبدال وحدة التحكم ببديل ذو تنفيس متقطع أو منخفض الاستنزاف. في حالات قليلة، قد تصنع الشركات المصنعة للأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط 'مجموعة من تقنية "أطقم التحديث" ،أجزاء وميزات لتحويل وحدات التحكم الحالية إلى وحدات تحكم ذات تنفيس متقطع. في حالات أخرى، يجب استبدال وحدة التحكم بالكامل.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

نظرًا لأن معدلات التنفيس من الأجهزة عالية الاستنزاف تكون عادةً أعلى من ١ سم في الساعة، فإن تركيب وحدة تحكم ذات استنزاف منخفض أو ذات تنفيس متقطع يمكن أن تمنع خسائر تزيد عن ١٠٠٠ دولار أمريكي سنويًا من كل جهاز.

تعتمد تكلفة استراتيجية التخفيف هذه على ما إذا كانت وحدة التحكم:

- يتم استبدالها في نهاية عمرها الإنتاجي؛
- يتم استبدالها في وقت مبكر؛ أو
- يتم تحويلها باستخدام أطقم التحديث.

أبلغ شركاء برنامج ستار للغاز الطبيعي[١٢] عما يلي.

- تكلفة استبدال وحدة تحكم عالية الاستنزاف بوحدة تحكم ذات تنفيس متقطع أو وحدة تحكم منخفضة الاستنزاف في نهاية العمر الإنتاجي لوحدة التحكم عالية الاستنزاف تتراوح بين ٢١٠ دولارًا أمريكيًا و ٣٤٠ دولارًا أمريكيًا.
- تكلفة استبدال وحدة التحكم عالية الاستنزاف قبل نهاية عمرها الإنتاجي تبلغ ١٨٥٠ دولارًا أمريكيًا.
- تكلفة تحويل وحدة تحكم عالية الاستنزاف مع أطقم التحديث تبلغ ٦٧٥ دولارًا أمريكيًا.

وتعني هذه الأرقام أنه يمكن استرداد التكاليف في غضون فترة تتراوح من بضعة أشهر إلى سنتين.

استراتيجية التخفيف ٣: فحص الأجهزة بانتظام وإصلاح أو استبدال تلك التي لديها انبعاثات أعلى من المتوقع[١٣]

لقد وجدت العديد من الدراسات أن جزءًا صغيرًا من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط هي المسؤولة عن غالبية انبعاثات الميثان من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط[٣،٤،٥،٦،٧،٨،٩]. بعض وحدات التحكم لديها معدلات انبعاث عالية، ولكن البعض الآخر قد ينتج انبعاثات أعلى مما هو متوقع لأنهم لا يعملون بشكل صحيح.

يمكن أن يشير نمط غاز التنفيس من الجهاز إلى ما إذا كان يعمل أو لا يعمل بشكل صحيح (انظر الصفحة ٦).

يمكن لبرنامج الفحص والصيانة المستهدف للأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط تقليل الانبعاثات عن طريق تحديد الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط التي لا تنفس بشكل طبيعي ثم إصلاحها أو استبدالها.

يمكن أن يستهدف برنامج فحص وصيانة جديد الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط على وجه التحديد، أو يمكن دمج الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط في برنامج قائم، مثل البرنامج الحالي لاكتشاف وإصلاح التسريبات في المعدات.

في الولايات المتحدة، تبنت طواعية العديد من المنظمات برامج التفتيش والصيانة الرسمية[١٣]. كما أضافت ولاية كولورادو أجهزة تعمل بالغاز المضغوط إلى عمليات المسح التي يتم إجراؤها باستخدام كاميرات التصوير الضوئي للغازات (OGI). تُستخدم هذه الكاميرات لتحديد تسرب الغاز، ولكنها تُستخدم الآن أيضًا لتحديد سلوك الانبعاث غير المعتاد للأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط. من المتوقع أن تنتشر هذه الممارسة في عام ٢٠١٩.

تقليل الانبعاثات واسترداد التكاليف

كانت هناك خبرة عملية محدودة عبر صناعة برامج الفحص والصيانة الموجهة لوحدات التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط، على الرغم من أنه من المتوقع أن يتغير هذا الوضع سريعاً. تشمل المشكلات المهمة التي يجب معالجتها نسب الأجهزة التي يمكن إصلاحها، ومتانة الإصلاحات، وتكلفة عمليات الفحص.

قائمة التحقق

تسمح قائمة التحقق التالية كل مشغل بتقييم تقدمه في تقليل الانبعاثات من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط.

النشاط	ضع علامة عند الانتهاء	نسبة الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط التي يشملها النشاط
أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط		
إعداد والاحتفاظ بسجل دقيق لأجهزة التحكم التي تعمل بالغاز الطبيعي.		
استبدال أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة كهربائية أو ميكانيكية حيثما كان ذلك عمليًا.		
إذا تم استخدام أجهزة تحكم تعمل بالغاز المضغوط، فاستخدم الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي كسائل هوائي.		
إذا كان استخدام وحدات تحكم تعمل بالغاز المضغوط هو الخيار الأكثر جدوى، فاستبدل وحدات التحكم عالية الاستنزاف بوحدات تحكم منخفضة الاستنزاف أو ذات تنفيس متقطع.		
إدراج وحدات التحكم التي تدار بالغاز الطبيعي في برنامج فحص وصيانة مستهدف وتسجيل نمط انبعاثات غاز التنفيس في سجل سنوي.		
المضخات التي تعمل بالغاز المضغوط		
إعداد والاحتفاظ بسجل دقيق للمضخات التي تعمل بالغاز المضغوط المدفوعة بالغاز الطبيعي.		
استبدال المضخات التي تعمل بالغاز المضغوط بمضخات كهربائية (ربما تعمل بالطاقة الشمسية).		

الملحق ١

الدراسات الحديثة التي تقيس الانبعاثات من الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط (تم تبنيها وتحديثها من الأكاديميات الوطنية للعلوم والهندسة والطب (NASEM)[٣])

منطقة العينة	تفاصيل الدراسة	المصدر
مواقع إنتاج الغاز الطبيعي		
الولايات المتحدة	قامت الدراسة بقياس الانبعاثات من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط في مواقع آبار الغاز الطبيعي.	(٤)
كولومبيا البريطانية وألبرتا	ركزت الدراسة على وحدات التحكم عالية الاستنزاف. تم الإبلاغ عن انبعاثات لمصنعين ونماذج مختلفة.	(٥)
الولايات المتحدة	قامت الدراسة بقياس الانبعاثات من وحدات التحكم في مواقع آبار النفط والغاز في الولايات المتحدة. ١٩٪ من أجهزة التحكم مسؤولة عن ٩٥٪ من الانبعاثات من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط في الدراسة.	(٦)
أوكلاهوما	قامت الدراسة بقياس الانبعاثات من وحدات التحكم في مواقع النفط والغاز في أوكلاهوما. تم احتساب ٣٫٥٪ من وحدات التحكم مسئولة عن ٧٣٪ من الانبعاثات من أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط في الدراسة.	(٧)
يوتا	قامت الدراسة بقياس الانبعاثات من وحدات التحكم في مواقع النفط والغاز في ولاية يوتا. جاءت غالبية الانبعاثات من ١٤ من ٨٠ وحدة تحكم. ١١ من ١٤ وحدة تحكم لا تعمل بشكل صحيح.	(٨)
مواقع تجميع ومعالجة الغاز الطبيعي		
الولايات المتحدة	تم قياس الانبعاثات من وحدات التحكم على مدار ٧٢ ساعة.	(٩)

الملحق ٢

استراتيجية التخفيف	الوصف	رابط لمزيد من المعلومات
٤. استبدال الأجهزة عالية الاستنزاف بأجهزة منخفضة الاستنزاف أو عديمة الاستنزاف.	1 أ استبدال الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط بأجهزة كهربائية أو بأجهزة تعمل بالطاقة الشمسية.	(١٠)
	1 ب استبدال أجهزة التحكم التي تعمل بالغاز المضغوط بوحدات تحكم الميكانيكية.	(١١)
	1 ج استبدال الأجهزة عالية الاستنزاف بأجهزة ذات تنفيس متقطع أو منخفضة الاستنزاف.	(١٢)
٥. استخدام الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي لتشغيل الأجهزة التي تعمل بالغاز المضغوط	استخدام الهواء المضغوط المتولد في الموقع لتشغيل الأجهزة.	(١٢)
٦. إجراء عمليات تفتيش منتظمة وإصلاح أو استبدال العناصر عند الضرورة	نسبة صغيرة من أجهزة التحكم مسؤولة عن غالبية الانبعاثات. إذا أمكن تحديد وحدات التحكم ذات الانبعاثات العالية بسبب الأعطال، فيمكن إصلاحها أو استبدالها.	(١٣)

المراجع

1 United States Environmental Protection Agency (US EPA) 2019 'Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2017' (April 2019)

2 Climate and Clean Air Coalition, Oil & Gas Methane Partnership, Technical Guidance Document Number 1: Natural Gas Driven Pneumatic Controllers and Pumps Available at: **www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2017_OGMP-TGD1-Pneumatic-controls-and-pumps_CCAC.pdf** Emission factors (accessed September 22, 2019)

3 National Academies of Science, Engineering and Medicine (NASEM) 'Improving Characterization of Anthropogenic Methane Emissions in the United States' National Academy Press, Washington, DC (2018)

4 DT Allen, VM Torres, J Thomas, DW Sullivan, M Harrison, A Hendler, SC Herndon, CE Kolb, MP Fraser, AD Hill, BK Lamb, J Miskimins, RF Sawyer, JH Seinfeld 'Measurements of methane emissions at natural gas production sites in the United States' Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110(44):17768-17773 DOI: 10.1073/pnas.1304880110 (2013)

5 Prasino Group 'Final Report for Determining Bleed Rates for Pneumatic Devices in British Columbia' British Columbia Ministry of Environment. Available at **www.bcogris.ca/sites/default/files/prasinopneumaticghgefprojectmethodology.pdf.pdf** (2013, accessed September 22,2019)

6 DT Allen, A Pacsi, D Sullivan, D Zavala-Araiza, M Harrison, K Keen, M Fraser, AD Hill, RF Sawyer, JH Seinfeld 'Methane Emissions from Process Equipment at Natural Gas Production Sites in the United States: Pneumatic Controllers' Environmental Science & Technology, 49 (1), 633–640, doi:10.1021/es5040156 (2015)

7 M Gibbs 'Improving oil and gas emissions tool inputs using industry surveys and permit data' Presented at National Oil and Gas Emissions Committee Monthly Call and Industry Outreach (November 12, 2015)

8 ED Thoma, P Deshmukh, R Logan, M Stovern, C Dresser, HL Brantley 'Assessment of Uinta Basin Oil and Natural Gas Well Pad Pneumatic Controller Emissions' Journal of Environmental Protection 8:394-415. DOI: 10.4236/jep.2017.84029. (2017)

9 B Luck, D Zimmerle, T Vaughn, T Lauderdale, K Keen, M Harrison, A Marchese, L Williams, D Allen 'Multiday Measurements of Pneumatic Controller Emissions Reveal the Frequency of Abnormal Emissions Behavior at Natural Gas Gathering Stations' Environmental Science & Technology, doi: 10.1021/acs.estlett.9b00158 (2019)

10 United States Environmental Protection Agency (US EPA) 2019, Natural Gas Star 'Replacing Gas-Assisted Glycol Pumps with Electric Pumps' Available at **www.epa.gov/natural-gas-star-program/replacing-gas-assisted-glycol-pumps-electric-pumps** (2019)

11 United States Environmental Protection Agency (US EPA) 2019c, Natural Gas Star 'Convert Pneumatics to Mechanical Controls' Available at **www.epa.gov/natural-gas-star-program/convert-pneumatics-mechanical-controls** (2019)

12 United States Environmental Protection Agency (US EPA) 2019e, Natural Gas Star 'Convert Gas Pneumatic Controls to Instrument Air' Available at **www.epa.gov/sites/production/ files/2016-06/documents/ll_instrument_air. pdf** (2019)

13 Doug Jordan, Southwestern Energy, Presentation to the EPA Natural Gas STAR / Methane Challenge Annual Implementation Workshop (October 25, 2017)