المبادئ
التوجيهية لغاز
الميثان

الحد من انبعاثات غاز الميثان:
دليل أفضل الممارسات
التصميم الهندسي والبناء

نوفمبر ٢٠١٩

المبادئ
التوجيهية لغاز
الميثان

الحد من انبعاثات غاز الميثان:
دليل أفضل الممارسات
التصميم الهندسي والبناء

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 2

المقدمة ٣

مثال على استراتيجيات الهندسة والتصميم ٥

قائمة التحقق ١٤

الملحق 1: استراتيجيات التخفيف التي يمكن استخدامها في مرحلة التصميم ١٥

المراجع ١٨

الملخص

يمكن للهندسة والتصميم أن يلعبان دورًا حيويًا في الحد من انبعاثات الميثان ، وهما خط الدفاع الأول. أيضا ، عادة ما يكون الحد من الانبعاثات خلال مرحلة التصميم أرخص بكثير من تكييف الأنظمة في وقت لاحق أو كجزء من الصيانة. في كثير من الحالات ، يمكن التخلص من انبعاثات الميثان عن طريق التصميم. إذا لم يكن ذلك ممكنًا ، فقد يتم تقليل التنفيس والتسرب من خلال التصميم الفعال للأنظمة. قد يشمل ذلك التصميمات التي تقلل من كمية الميثان المتسربة أو المنبعثة والوقود المستخدم أو كملاذ أخير ، دمج جهاز تحكم للتحكم في الميثان.

مبادئ التصميم العامة للحد من انبعاثات غاز الميثان هي كما يلي:

أفضل الممارسات للحد من انبعاثات غاز الميثان من استخدام الطاقة في عمليات النفط والغاز
استخدام معدات كهربائية وميكانيكية ومعدات الهواء المضغوط قدر الإمكان
مركزية المنشآت
استخدام خطوط الأنابيب لنقل النفط والغاز الطبيعي من المنشآت
استرداد الميثان للاستخدام المفيد
استخدام معدات بديلة منخفضة الانبعاثات وقليلة الصيانة

المقدمة

يمكن استخدام الهندسة وتصميم الأنظمة لتقليل انبعاثات غاز الميثان قبل أن تبدأ المنشآت الجديدة عملياتها أو عند تعديل المنشآت القائمة. توفر مرحلة التصميم أفضل فرصة لتحديد تخفيضات الميثان. كما أن تطبيق استراتيجيات التخفيض في مرحلة التصميم يكون عادة أقل تكلفة من تعديل المنشأة. يجب على مهندس النظام مراعاة الاستراتيجيات التالية للحد من انبعاثات الميثان.

ترتيب الاستراتيجيات وفقاً للأولوية.

1. القضاء على مصادر الميثان
2. تقليل كمية الميثان المنبعثة وكمية الوقود المستخدم
3. السيطرة على مصادر غاز الميثان المتبقية

معظم الحلول الهندسية ستكون خاصة بعمليات ومنشآت الشركة ، وستتطور مع تطور التكنولوجيا. يحتاج أي تصميم إلى إعطاء الأولوية للتكامل والسلامة والحماية من الحرائق والمتطلبات التنظيمية على الحد من الانبعاثات. ستتم مناقشة استراتيجيات التصميم الفعالة للحد من انبعاثات غاز الميثان عبر سلسلة إمداد الغاز الطبيعي بالتفصيل أدناه.

1. استخدام المعدات الكهربائية والميكانيكية ومعدات الهواء المضغوط حيثما أمكن ذلك

تعد الأجهزة الهوائية التي تعمل بالغاز الطبيعي مصدرًا معتبرًا لانبعاثات غاز الميثان في بعض العمليات في صناعة النفط والغاز. استخدام الأجهزة الكهربائية أو الميكانيكية أو أجهزة الهواء المضغوط يمكن أن يزيل الانبعاثات تمامًا من الأجهزة الهوائية.

إذا لم يكن هناك كهرباء رئيسية في موقع بعيد ، فيمكن استخدام مولد كهرباء واحد يعمل بالغاز أو ضاغط هواء بدلاً من العديد من الأجهزة الهوائية. استخدام الضواغط والمضخات الكهربائية بدلاً من المعدات التي تعمل بالغاز يمكن أن يقلل من الغاز الطبيعي المستخدم كوقود ويزيد الكمية التي يمكن بيعها منه. المحركات الكهربائية أيضًا أكثر موثوقية من المحركات التي تعمل بالغاز ، ولكن قد تكون هناك حاجة إلى مولد يعمل بالغاز إذا لم يكن الموقع يحتوي على كهرباء رئيسية.

2. مركزية المنشآت

قد تؤدي مركزية المنشآت إلى القضاء على مصادر انبعاثات الميثان وتسمح باستخدام معدات وعمليات أكثر كفاءة. على سبيل المثال ، قد تستخدم المنشأة المركزية سخانًا واحدًا للزيت الساخن لتوفير الحرارة لجميع المعدات في المنشأة بدلاً من سخان منفصل لكل قطعة من المعدات.

يمكن أن تجعل المرافق المركزية أيضًا معدات تقليل أو استرداد الميثان أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية. على سبيل المثال ، مثبت النفط أو نظام الفصل متعدد المراحل الذي يمكن أن يأخذ الإنتاج من المنشآت المحيطة لتقليل انبعاثات صهاريج التخزين. قد لا تكون الأنظمة المماثلة في كل موقع منفصل متاحة أو اقتصادية على مقياس أصغر.

3. استخدام خطوط الأنابيب لنقل النفط والغاز الطبيعي

يضمن استخدام أنابيب الغاز الطبيعي بيع الميثان ويقلل أو يزيل الحرق أو التنفيس في منشآت الإنتاج. يمكن لخطوط أنابيب السوائل القضاء على انبعاثات غاز الميثان من صهاريج التخزين وتحميل الشاحنات ، كما تسمح خطوط الأنابيب هذه بمركزية المعدات.

4. استرداد الميثان للاستخدام المفيد

يجب إعطاء الأولوية لاسترداد الغاز الطبيعي على الحرق أو التنفيس. يمكن بيع الغاز الطبيعي أو استخدامه كوقود في الموقع. يمكن تركيب وحدات استرداد البخار لتعزيز ضغط الغاز ذو الضغط المنخفض لغرض بيعه. يمكن أيضًا توجيه الغاز إلى نظام وقود منخفض الضغط أو خط تجميع محلي. سيستخدمه بعض المشغلين لتوليد الكهرباء لتشغيل ضواغط الهواء أو احتمالية بيع الكهرباء إلى الشبكة المحلية. يمكن أيضًا حقن الغاز مرة أخرى في البئر لتحسين الاسترداد. يجب أن يعطي التصميم الهندسي الأولوية لاسترداد الغاز الطبيعي إن أمكن.

5. استخدام معدات بديلة منخفضة الانبعاثات وقليلة الصيانة

يمكن التخلص من بعض العمليات أو المعدات أو استبدالها بأنظمة بديلة بدون انبعاثات أو منخفضة الانبعاثات. يجب الأخذ في الاعتبار الأنظمة البديلة إذا كانت قادرة على تلبية متطلبات المشروع. على سبيل المثال ، حقن الميثانول أو مجففات الديسيكانت هي بعض البدائل منخفضة الانبعاثات لمجففات الجليكول التقليدية. يجب أيضًا مراعاة معدات قليلة الصيانة لتقليل تنفيس الغاز الطبيعي من أجل أداء أنشطة الصيانة.

تحديد كمية الانبعاثات

توفر طرق القياس الكمي لانبعاثات الميثان معدلًا ، مثل معدل الكتلة للوقت (على سبيل المثال كيلوغرام في الساعة) أو الحجم للوقت (على سبيل المثال ، أمتار مكعبة قياسية للساعة) ، ويمكن إنتاجها من خلال التقديرات الهندسية ، عن طريق القياس المباشر لمصادر الميثان ، أو باستخدام النماذج. في مرحلة التصميم ، هناك ثلاث تقنيات أساسية لتحديد كمية الانبعاثات. وهي مدرجة أدناه ، من الأكثر دقة إلى الأقل دقة.

- نموذج محاكاة (النمذجة)(لانبعاثات الخزان الوامضة وانبعاثات مُجدد مُجفف الجليكول) باستخدام برنامج محاكاة العمليات للتنبؤ بالانبعاثات بناءً على المبادئ الأولية والمعادلات.
- قد تستخدم معادلات حساب الانبعاثات مجموعة متنوعة من المعلومات ، من الشركة المصنعة للمعدات أو مجمعة محليًا ، لتقدير المعدل من عمليات أو أنشطة معينة.

بالنسبة لبعض المصادر والعمليات ، يتم استخدام البرامج والنماذج المتاحة تجاريًا على نطاق واسع لمحاكاة عمليات معالجة الهيدروكربونات. ومن الأمثلة على هذه البرامج ProMax® أو Aspen HYSYS® ، أو تبسيط لهذه النماذج في أدوات التقدير مثل P&E Tanks التي طورها معهد البترول الأمريكي (API). يمكن أيضًا استخدام النماذج لتوصيف انبعاثات غاز الميثان من فتحات تنفيس نظام مجفف الجليكول ، وهناك أدوات تبسيط مثل برنامج GLYCalcTM لمعهد تكنولوجيا الغاز (GTI). تتمثل ميزة النموذج في أنه يمكن إدخال الظروف الخاصة بالموقع ، بحيث يمكن محاكاة كل عملية فردية بدقة. تتطلب بعض السلطات القضائية حتى استخدام نماذج معينة. أحد الأمثلة على ذلك هو الإبلاغ عن انبعاثات الخزان الوامضة بموجب قاعدة الإبلاغ عن الغازات الدفيئة في وكالة حماية البيئة الأمريكية (US EPA) ، أو بموجب معيار أداء المصدر الجديد الأمريكي ، الجزء الفرعي OOOOa.

يمكن استخدام معادلات أقل تفصيلاً لتقدير الانبعاثات. تتطلب هذه المعادلات استخدام معلومات خاصة بالموقع لتوصيف الانبعاثات. قد تستخدم المعادلات مجموعة متنوعة من المعلومات المقدمة محليًا لتقدير المعدل من عمليات أو أنشطة معينة.

الطريقة الأسهل ولكنها الأقل دقة كذلك لتقدير الانبعاثات هي استخدام المعلومات من الشركة المصنعة للمعدات و ’عوامل الانبعاث‘ ، حيث يتم ضرب الانبعاثات لكل نشاط (مثل كمية الغاز في السنة لكل نوع من المعدات) ببساطة في عدد قطع المعدات.

مثال على استراتيجيات الهندسة والتصميم

لا يهدف هذا الدليل إلى تفصيل جميع توصيات التصميم التي يمكن أن تقلل انبعاثات غاز الميثان ، ولكن بالأحرى إعطاء بعض الأمثلة على أفضل الممارسات التي يمكن اتباعها لتقليل انبعاثات غاز الميثان. يمكن استخدام العديد من استراتيجيات التقليل المفصلة في أدلة أفضل الممارسات الأخرى لأغراض التصميم والهندسة. هذه الاستراتيجيات ليست مفصلة في هذا الدليل. الاستراتيجيات الواردة في الجدول أدناه مشمولة في هذا الدليل.

استراتيجية الهندسة والتصميم	يزيل مصادر انبعاثات الميثان	يقلل من التنفيس والتسرب أو استخدام الطاقة	يتحكم في الميثان	فنة استراتيجية التصميم
1. تحديد المرافق والمركزية	✓	✓		1 ، 2 ، و 3
2. التصميم الوحدات	✓	✓		5
3. القضاء على العناصر الهاربة المتسربة		✓		5
4. موقع صمامات بوابة الحريق وصمامات العزل		✓		4
5. الفصل الثانوي والثالث		✓		4
6. تصميم بلا خزان	✓	✓		3 و 5
7. تصميم صهريج التخزين		✓	✓	5
8. استخدام الضواغط الكهربائية	✓	✓	✓	1
9. منحدرات الكواشط وخطوط العبور		✓		4 و 5
10. استخدام الميثانول لمنع الهيدرات	✓	✓		5
11. خزان وميض وحدة الأمين		✓		4
12. جهاز التحكم في الغازات الحمضية		✓	✓	5

استراتيجية الهندسة والتصميم 1: تحديد المرافق والمركزية

يتم إنتاج النفط والغاز الطبيعي في مواقع بعيدة ، وغالبًا ما يكون ذلك بخطوط أنابيب لتجميع الغاز وإمدادات الطاقة محدودة. تعتمد العديد من المنشآت على السخانات والمحركات والأجهزة الهوائية التي تستخدم الغاز الطبيعي كوقود وغاز دافع. كما أنهم يحتاجون في بعض الأحيان إلى إحراق الغاز الطبيعي أو تنفيسه.

عندما يكون ذلك ممكنًا من الناحية الفنية والاقتصادية ، يجب أن يأخذ القرار المتعلق بمكان تحديد الموقع في الاعتبار القرب من مصادر الطاقة وخطوط الأنابيب الموجودة ، ويجب أن يقلل تصميم المنشآت من استخدام الغاز الطبيعي كوقود واستخدام المعدات الكهربائية بدلاً من ذلك. إذا تعذر تحديد موقع المنشأة بالقرب من البنية التحتية المقامة، فيجب جلب إمدادات الطاقة وخطوط الأنابيب إلى المنشأة إذا كان ذلك ممكنًا من الناحية الفنية والاقتصادية.

يجب على المشغلين ، حيثما كان ذلك عمليا ، تمركزمنشآت الإنتاج للتطويرات كبيرة الحجم. المركزية هي المكان الذي لا يحدث فيه (أو الحد الأدنى من) معالجة للهيدروكربونات ومناولة للسوائل عند منصة البئر ، ويتم إجراء الفصل والمعالجة والتخزين والمناولة بدلاً من ذلك في منشأة ذات موقع مركزي. يمكن للمنشأة المركزية استخدام تدابير التقليل التي قد لا تكون اقتصادية في المنشآت الصغيرة.

متطلبات التشغيل

يجب الاخذ في الاعتبار الأنظمة الاحتياطية - مثل مولدات الطوارئ والشعلات ونقل السوائل بالشاحنات - إذا كان من المتوقع حدوث انقطاع متكرر لإمدادات الطاقة. قد تكون هناك حاجة أيضًا إلى عمليات معالجة إضافية مثل التجفيف وإزالة الغازات الحمضية وتصفية النفط في الموقع للتأكد من أن المنتج يفي بالمواصفات اللازمة ليتم نقله في خط الأنابيب.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

تم توضيح التخفيضات والتقييمات الاقتصادية لخيارات التقليل التي تتطلب مصدر طاقة بالتفصيل في استراتيجيات الهندسة والتصميم الأخرى.

في الولايات المتحدة القارية في عام 2017 ، تراوحت تكلفة خطوط الأنابيب التي يقل قطرها عن 20 بوصة (500 مم) بين 29,000 دولار أمريكي لكل بوصة-ميل إلى 167,000 دولار أمريكي لكل بوصة-ميل (710 دولار إلى 4,086 دولار لكل مم-

كم)[1]. في الولايات المتحدة القارية في عام 2013 ، تقدر تكلفة خطوط الطاقة فوق سطح الأرض بما يتراوح بين 285,000 دولار أمريكي إلى 390,000 دولار لكل ميل (177,000 دولار إلى 242,000 دولار لكل كم)[2].

استراتيجية الهندسة والتصميم 2: تصميم الوحدة

تنخفض معدلات إنتاج الآبار بمرور الوقت ، خاصة بالنسبة للآبار غير التقليدية. لن تكون هناك حاجة إلى معدات إنتاج بحجم الإنتاج الأولي مع انخفض الإنتاج من البئر. يسمح تصميم الوحدة بتقليص المعدات مع انخفاض معدلات الإنتاج. من المرجح أن تؤدي إزالة المعدات إلى تقليل عدد التسربات الهاربة ، وكذلك كمية الغاز الطبيعي المستخدمة في دفع الأجهزة الهوائية. تتضمن أمثلة تصميم الوحدة استخدام معدات مثبتة على منصة يمكن إزالتها واستبدالها بسهولة ، مع وجود العديد من صهاريج التخزين الصغيرة بدلاً من صهريج تخزين كبير ، ووجود عدة ضواغط أصغر بدلاً من ضاغط واحد كبير.

متطلبات التشغيل

يجب أن تكون المنشآت كبيرة بما يكفي لامتلاك عدة معدات بدلاً من قطعة واحدة كبيرة من المعدات. يجب على المشغلين تقييم معدلات الإنتاج بانتظام لتحديد متى يجب إزالة المعدات.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

تعتمد التخفيضات والتكاليف على المعدات. قدّر أحد المشغلين توفيرات تقدر بـ 4،200 مليون قدم مكعبة (ألف قدم مكعب قياسية) سنويًا (120،000 متر^3 (متر مكعب) سنويًا) من الغاز الطبيعي لكل صهريج تخزين تمت إزالته[3]. قد تكون تكاليف المعدات المسبقة أكثر قليلاً من المنشآت التقليدية بسبب الحاجة إلى شراء معدات إضافية.

بالنسبة للتطويرات - كبير الحجم ، قد يؤدي تصميم الوحدة أيضًا إلى توفير في التكلفة حيث يمكن استخدام المعدات التي تمت إزالتها في منشآت أخرى.

استراتيجية الهندسة والتصميم 3: القضاء على التسربات الهاربة

يتم استخدام الوصلات و الملولبة والوصلات المشفهة لتوصيل الأنابيب والمعدات والمكونات الأخرى مثل الصمامات. تستخدم الوصلات الملولبة بشكل شائع في الأنابيب التي يبلغ قطرها بوصتين (50 مم) أو أصغر. تستخدم الوصلات المشفهة بشكل شائع في الأنابيب التي يزيد قطرها عن بوصتين. هناك احتمال لتسرب الغاز الطبيعي من الوصلات الملولبة والوصلات المشفهة. يمكن استبدال هذه الوصلات أحيانًا بوصلات ملحومة ، والتي تقل احتمالية تسربها كثيرًا.

متطلبات التشغيل

هناك حاجة لوصلات ملولبة أو مشفهة عند توصيل الصمامات أو المكونات الأخرى التي تحتاج إلى إزالة أو استبدال بشكل متكرر لتجنب الاضطرار إلى قطع الأنابيب.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

خلال مرحلة التصميم ، تكون تكلفة استبدال والوصلات المشفهة أو الوصلات الملولبة باللحامات ضئيلة. تقدر الانبعاثات من الوصلات المشفهة بين 5.7×10^{-6} و 0.39×10^{-6} كجم في الساعة لكل وصلة مشفهة[4]. وتقدر الانبعاثات من الوصلات الملولبة بين 1.0×10^{-5} و 0.75×10^{-5} كجم في الساعة لكل وصلة[4]. لا يتوقع تسرب الوصلات الملحومة.

استراتيجية الهندسة والتصميم 4: موقع صمامات بوابة الحريق وصمامات العزل

تستخدم صمامات العزل لعزل المعدات مثل الضواغط أو أوعية الفصل بحيث يمكن إزالة الضغط عنها (حالة تفريغ الضغط) لأغراض الصيانة والإصلاح. إن وجود الصمامات بالقرب من المعدات قدر الإمكان يقلل من كمية الميثان المنبعثة أثناء حالات تفريغ الضغط.

تستخدم صمامات بوابة الحريق لعزل المنشأة أثناء إيقاف التشغيل الطارئ. كما أن وجود صمامات بوابة الحريق قريبة قدر الإمكان من القطعة الأولى والأخيرة من المعدات في المنشأة يقلل أيضًا من كمية غاز الميثان المتحرر أثناء عمليات إيقاف التشغيل الطارئة.

متطلبات التشغيل

قد يتم تحديد موقع الصمامات من خلال لوائح السلامة أو الحماية من الحرائق.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

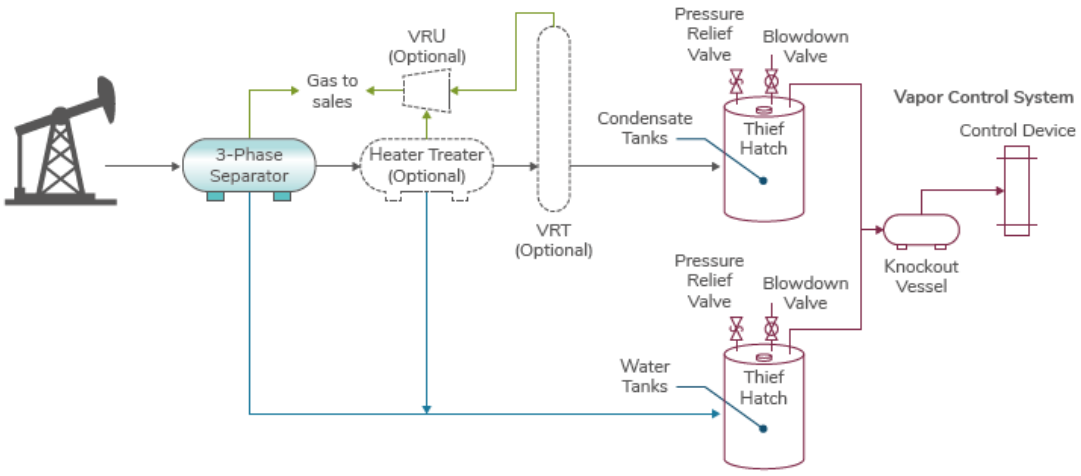
خلال مرحلة التصميم ، تكون تكلفة نقل الصمامات ضئيلة. يعتمد تقليل الميثان على ضغط خط الأنابيب أو المعدات وكمية الأنابيب التي تحتاج إلى خفض الضغط أثناء حالات الطوارئ أو الصيانة ، وتكرار حالات تفريغ الضغط.

إستراتيجية الهندسة والتصميم 5: الفصل الثانوي والثالثي

يجب فصل الزيت والمكثفات عن الغاز الطبيعي في منشآت الإنتاج ومحطات الكبس ومحطات المعالجة. عادة ما يحدث هذا الفصل تحت ضغط مرتفع أكبر من 100 رطل لكل بوصة مربعة معيارية (700 كيلو باسكال). عندما يتم نقل الزيت أو المكثفات من فواصل الضغط العالي إلى صهاريج التخزين تحت الضغط الجوي ، يتم تحرير 'غاز الوميض'. عادة ما يتم تنفيس غاز الوميض من صهاريج التخزين أو يتم حرقه. يمكن استخدام الفصل الثانوي والثالثي لاستعادة بعض أو كل غاز الوميض وتقليل الوميض داخل صهاريج التخزين.

يوضح الشكل 1 الفواصل الثانوية والثالثية المتمثلة في معالج حراري وبرج استرداد البخار في منشأة إنتاج.

الشكل 1: الفواصل الثانوية والثالثية في منشأة الإنتاج



المصدر: المرجع[5]

3-Phase Separator = فاصل ثلاثي الطور

الغاز إلى المبيعات = Gas to Sales

وحدة استرداد البخار (اختياري) = VRU (Optional)

معالج حراري (اختياري) = Heater Treater (Optional)

برج استرداد البخار (اختياري) = VRT (Optional)

صمام تنفيس الضغط = Pressure Relief Valve

صمام تفريغ = Blowdown Valve

فتحة أخذ العينات = Thief Hatch

خزانات المكثفات = Condensate Tanks

خزانات الماء = Water Tanks

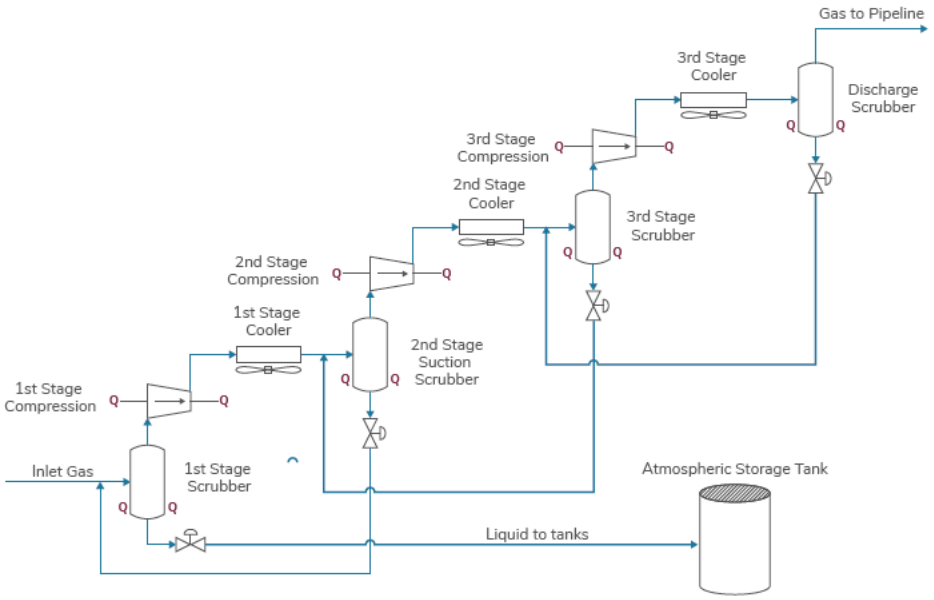
وعاء فصل = Knockout Vessel

نظام التحكم بالبخار = Vapor Control System

جهاز التحكم = Control Device

يمكن استخدام ممارسة الفصل الثانوي والثالثي لأجهزة جلى الضاغط وكذلك حيث يتم توجيه المكثفات المكثفة إلى أوعية الضغط المنخفض بدلاً من صهاريج التخزين غير المضغوطة. مثال على ذلك هو تكوين أجهزة الجلى المتتالية ، كما هو موضح في الشكل 2 ، حيث يتم توجيه المكثف عالي الضغط إلى جهاز الجلى المنخفض للضغط التالي ، ويتم توجيه المكثف من جهاز الجلى ا المدخل فقط إلى الخزانات.

الشكل 2: نظام الغسيل المتتالي على الضاغط



1st Stage Compression	المرحلة الأولى من الكبس	3rd Stage Scrubber	المرحلة الثالثة من جلى الغاز
Inlet Gas	الغاز الداخل	3rd Stage Cooler	مرحلة التبريد الثالثة
1st Stage Scrubber	المرحلة الأولى من جلى الغاز	Discharge Scrubber	جلية الغاز النهائية
2nd Stage Compression	المرحلة الثانية من الكبس	Gas to Pipeline	الغاز لخط الأنابيب
1st Stage Cooler	مرحلة التبريد الأولى	Liquid to tanks	السوائل إلى الخزانات
2nd Stage Suction Scrubber	جالية السحب للمرحلة الثانية	Atmospheric Storage Tank	صهريج تخزين تحت الضغط الجوي
2nd Stage Cooler	مرحلة التبريد الثانية		

متطلبات التشغيل

يلزم استخدام وحدات استرداد البخار لاسترداد الغاز من أوعية الضغط المنخفض. يُفضل استخدام وحدات استرداد البخار الكهربائية نظرًا لقدرتها على العمل في نطاق أوسع بالنسبة لمعدلات التدفق من الضواغط التي تعمل بمحركات الغاز الطبيعي.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

قدرت دراسة حالة من شركة أوكسيدنتال للبترول تكلفة فاصل ثانوي و برج استرداد البخار (VRT) مع وحدات استرداد البخار (VRUs) بمبلغ يتراوح من 100،000 دولار أمريكي إلى 200،000 دولار أمريكي[6]. تتراوح فترات الاسترداد عادةً من شهر إلى خمسة أشهر[6].

تكلفة أجهزة الجلى المتتالية غير معروفة ، ولكن من المرجح أن تكون ضئيلة بسبب التغييرات الطفيفة التي يلزم إجراؤها على الأنابيب. تعتمد تخفيضات الانبعاثات على تركيبة الغاز ، لكن واحدة من دراسات الحالة التي أجراها المستشار كينت بينيبيكر قدرت أن مكبات الجلى المتتالية يمكن أن تقلل من الغاز الوميضمن صهريج التخزين بنسبة 98.7٪ وتزيد من كمية الغاز الذي يمكن بيعه بنسبة 1.2٪[7].

استراتيجية الهندسة والتصميم 6: تصميم بلا خزان

يتم استخدام صهاريج التخزين تحت الضغط الجوي لاحتواء النفط الخام ومكثفات الهيدروكربون والمياه المنتجة (ومزائج منها) قبل نقلهم من الموقع. وتقدر وكالة حماية البيئة أن الميثان من صهاريج التخزين تحت الغلاف الجوي يمثل حوالي 10٪ من الميثان من صناعة النفط والغاز [8]. إحدى تقنيات التصميم هي القضاء على صهريج التخزين تمامًا.

يمكن تطبيق هذا التصميم 'بلا خزان' بطرق مختلفة من خلال عمليات الإنتاج والتجميع والمعالجة. فيما يلي أمثلة على التصميم بلا خزان من منظور الإنتاج والتجميع والمعالجة.

- الإنتاج – يتم نقل السائل من الفاصل مباشرة إلى خط الأنابيب من خلال وحدة LACT (وحدة النقل الأوتوماتيكي للتأجير) أو إلى وعاء أندفاع يعمل تحت ضغط قريب من الضغط الجوي. تم تصنيف وعاء الاندفاع لضغط أعلى بكثير من الضغط الجوي. يسمح نطاق التشغيل الكبير للوعاء باستيعاب التقلبات في الإنتاج والتغيرات في ضغط الخزان بسبب التبخر الفجائي. يتم ضغط البخار المتولد في وعاء الاندفاع وإرساله إلى خط الأنابيب. يوضح الشكل 3 مثال على منشأة إنتاج باستخدام تصميم بلا خزان.

الشكل 3: منشأة إنتاج باستخدام تصميم بلا خزان

المصدر: المرجع[9]

- التجميع – في محطة الكبس ، يتم توجيه السائل من 'فاصل الترسبات' مباشرة إلى منفذ المنشأة باستخدام مضخة كهربائية أو وعاء ضغط السوائل.
  يتم بعد ذلك معالجة السوائل في منشآت تكرير البترول وتسويقه ونقله مثل محطة معالجة الغاز الطبيعي.
- المعالجة – في مصنع معالجة الغاز الطبيعي ، يتم تثبيت السائل من فاصل الترسبات وخلطه مع سوائل الغاز الطبيعي(NGL)في خزانات مضغوطة أو إرسالها مباشرة إلى خط أنابيب لسوائل الغاز الطبيعي.

متطلبات التشغيل

يتطلب التصميم بلا خزان الوصول إلى خط الأنابيب. قد يحتاج السائل إلى استيفاء مواصفات معينة ليتم نقله في خط الأنابيب. قد تكون هناك حاجة إلى طريقة لإعادة معالجة أو تخزين السائل الذي لا يفي بالمواصفات. قد يكون من الضروري أيضًا توفير سعة صهريج تخزين الطوارئ بحيث يمكن للآبار أن تنتج عندما يتم فصل المنشأة عن خط الأنابيب.

الكهرباء في المنشأة مهمة أيضًا لأنها تسمح باستخدام المضخات الكهربائية ووحدات استرداد البخار. قد تكون هناك حاجة إلى 'كشط داخلي' لخط الأنابيب بشكل أكثر تكرارًا للأنظمة التي تستخدم تقنية الارتجاع الداخلي للسائل في محطات الكبس. في مصانع معالجة الغاز الطبيعي ، يجب تقييم إضافة المكثفات إلى سوائل الغاز الطبيعي لكل موقع على حدة للتأكد من أن سوائل الغاز الطبيعي لا تزال قادرة على تلبية مواصفات المشتري أو خط الأنابيب.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

يمكن التخلص من انبعاثات الخزان بشكل كامل تقريبًا باستخدام تصميم بلا خزان. أفاد أحد المشغلين عن انخفاض في الانبعاثات بنسبة تزيد عن 90٪ باستخدام منشآت بلا خزانات[9]. من المرجح أن تكون التكاليف أقل من المنشآت التقليدية بسبب انخفاض المعدات وحجم المواقع.

استراتيجية الهندسة والتصميم 7: تصميم صهاريج التخزين

قد يكون من الصعب تصميم أنظمة التحكم الخاصة بصهاريج التخزين بسبب نطاق ضغط التشغيل الضيق جدًا ، وعادة ما يكون أقل من 1 رطل لكل بوصة مربعة معيارية(7 كيلوباسكال). يمكن أن تؤدي الصمامات سريعة الحركة وأنظمة الرفع بالكباس والكشط الداخلي إلى اختلافات في معدلات تدفق السوائل والبخار في نظام التحكم. يجب تصميم نظام التحكم لصهاريج التخزين تحت الضغط الجوي بشكل ملائم بحيث لا يوجد تنفيس للجو من أجهزة تخفيف الضغط ويتم توجيه جميع الأبخرة من صهريج التخزين إلى جهاز التحكم أو وحدة استرداد البخار أثناء ذروة معدلات الإنتاج المعقولة. يجب أن يأخذ التصميم في الاعتبار الحد الأقصى لمعدلات تدفق البخار والسوائل ، والتي قد تختلف عن معدلات الإنتاج اليومية ، خاصة للأنظمة ذات الصمامات سريعة الحركة أو الآبار تحت رفع المكبس. يجب على التصميم تقييم قدرة جهاز التحكم ، وانخفاض الضغط من خلال أنابيب تجميع البخار.

متطلبات التشغيل

قد تكون هناك حاجة إلى نموذج محاكاة (النمذجة) لتحديد أقصى ضغط للتخزين.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

تقدر تكلفة إجراء تقييم التصميم على أنظمة التحكم في صهاريج التخزين في الولايات المتحدة القارية بما يتراوح بين 550 دولارًا و 360 دولارًا لكل منشأة[10].

استراتيجية الهندسة والتصميم 8: استخدام الضواغط الكهربائية

تستخدم الضواغط لنقل الغاز الطبيعي عبر خطوط الأنابيب ، وكذلك لاستعادة الغاز من أنظمة الضغط المنخفض. تُستخدم المحركات التي تعمل بالغاز الطبيعي بشكل شائع لتشغيل الضواغط. البديل هو استخدام المحركات الكهربائية لتشغيل الضواغط. يمكن لمحركات الغاز الطبيعي أن تعمل على ا أقل من 50٪ من طاقتها القصوى فقط. يمكن تشغيل المحركات الكهربائية ذات أجهزة تردد متغير بأحمال منخفضة جدًا. تحتاج المحركات الكهربائية أيضًا إلى صيانة أقل من محركات الغاز الطبيعي ، وبالتالي فهي أكثر موثوقية.

متطلبات التشغيل

هناك حاجة إلى مصدر طاقة لتشغيل الضواغط الكهربائية. قد تحتاج الضواغط الكبيرة إلى خطوط جهد كهربائي عالي. قد تكون هناك حاجة إلى مولد احتياطي للمناطق التي يكون فيها مصدر الطاقة غير موثوق به.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

يُقدّر أن توفر الضواغط الكهربائية 2.11 مليون قدم مكعب قياسي من الغاز لكل حصان قوى (80،000 م^3 لكل كيلوواط) للضاغط. تعتمد التكلفة على حجم الضاغط. قدرت إحدى دراسات الحالة أن النفقات الأولية كانت 1،500،000 دولار لمحرك 1،750 حصان قوى (1،300 كيلوواط). كانت تكاليف التشغيل السنوية تساوي تقريبًا تكلفة رأس المال الأولية ، وهي في الغالب ترجع إلى تكلفة الكهرباء[3].

استراتيجية الهندسة والتصميم 9: منحدرات الكواشط الداخلية وخطوط العبور

يتم استخدام كاشطة (أداة فحص الأنابيب) لفحص خطوط الأنابيب ودفع السوائل المتراكمة عبرها إلى منشآت االمعالجة النهائية . يتم إلغاء ضغط مصيدة الكاشطة (اطلاق) في بداية خط الأنابيب للسماح بإدخال الكاشطة في خط الأنابيب. يتم بعد ذلك رفع الضغط في مصيدة اطلاق الكاشطة لإرسال الكاشطة إلى نهاية خط الأنابيب. يتم استقبال الكاشطة في مصيدة كاشطة أخرى في الطرف الآخر من خط الأنابيب (المستقبل). في جهاز الاستقبال ، يتم حبس بعض السوائل أمام الكاشطة وكذلك على الكاشطة نفسها. عند إزالة الكاشطة ، يتم تحرير غاز الميثان بسبب التبخر الفجائي من السائل المحبوس. تسمح منحدرات الكواشط باحتجاز السوائل الموجودة أمام الكاشطة وعليها وإرسالها إلى خط الأنابيب قبل أن يتم تخفيف الضغط على مصيدة الكاشطة ، مما يقلل من الانبعاثات الوامضة. يمكن لخطوط العبور أن تخفف الضغط جزئيًا على المصيدة لتقليل التنفيس من عمليات الكشط.

متطلبات التشغيل

منحدرات الكواشط هي في الغالب أجهزة سلبية ، ولكن قد تكون هناك حاجة إلى وقت إضافي من استقبال الكاشطة إلى أن يتم إزالتها من جهاز الاستقبال للسماح للسوائل بالتصريف مرة أخرى إلى خط الأنابيب. يجب أن يكون نظام الضغط المنخفض متاحًا في الموقع لقبول الغاز من مصيدة الكواشط.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

تقدر شركة MPLX أن استخدام منحدرات الكواشط وخطوط العبور يمكن أن تقلل الانبعاثات من الكشط بنسبة تصل إلى 85٪[11] تحت تكلفة تبلغ حوالي 8،175 دولارًا أمريكيًا لكل منشأة[11].

استراتيجية الهندسة والتصميم 10: استخدام الميثانول لمنع الهيدرات

أثناء الطقس البارد ، يمكن أن يتجمد الماء ويشكل هيدرات في خطوط الأنابيب ، مما قد يمنع تدفق الغاز الطبيعي. عندما تكون الهيدرات مصدر قلق ، يستخدم مجفف الجليكول عادة لإزالة الماء من الغاز الطبيعي. يمتص الجليكول أيضًا بعض الميثان ، الذي يتم تنفيسه إلى الغلاف الجوي أثناء إعادة نشاط الجليكول. يمكن استخدام الميثانول بدلاً من مجفف الجليكول لمنع تكوين الهيدرات. يتم حقن الميثانول ببساطة في الغاز قبل دخوله إلى خط الأنابيب وإزالته في منشآت المعالجة النهائية

متطلبات التشغيل

يحتاج حقن الميثانول من خزان تحت الضغط الجوي في الغاز الطبيعي المضغوط إلى استخدام مضخة. عادة ما تكون المضخات سهلة الاستخدام وتعمل بالطاقة الشمسية. يجب تسليم الميثانول إلى كل منشأة بالشاحنة.

يجب إزالة الميثانول من الغاز الطبيعي أثناء المعالجة ، عادة أثناء الفصل الاعتيادي وإزالة الغازات الحمضية.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

تقدر تخفيضات الانبعاثات بنحو 800 مليون قدم مكعب (22،500 م^3) من الغاز الطبيعي لكل منشأة. تقدر التكلفة بمبلغ 2،250 دولارًا أمريكيًا لكل عملية تركيب بالإضافة إلى تكاليف تشغيل تبلغ 3.45 دولارًا أمريكيًا لكل مليون قدم مكعب من الغاز الطبيعي (121 دولارًا أمريكيًا لكل 10^6 م^3)^3.

استراتيجية الهندسة والتصميم 11: خزان فلاش وحدة الأمين

يحتاج الغاز الحمضي ، الذي يحتوي على تركيزات عالية من مركبات الكبريت ، بشكل رئيسي كبريتيد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون ، إلى المعالجة لإزالة هذه المركبات. وحدات الأمين هي إحدى طرق إزالة هذه المركبات. أكثر الأمينات المستخدمة شيوعًا هو ميثيل ديثانولامين. يتم تدوير الأمين من خلال برج ويمتص المركبات من الغاز الطبيعي المضغوط. كما يلتقط الأمين غاز الميثان من الغاز. يتم بعد ذلك إرسال الأمين إلى مُجدد لإزالة ثاني أكسيد الكربون والكبريت حتى يمكن إعادة استخدام الأمين. يسمى ثاني أكسيد الكربون والكبريت الذي تمت إزالته بالغاز الحمضي الذي يتم عادة تنفيسه إلى الغلاف الجوي.

يمكن تركيب خزان الوميض أعلى المجدد لاستعادة بعض الميثان الذي التقطته الأمينات. يكون خزان الوميض على ضغط أقل من البرج وبعض الميثان يتبخر فجائياً عندما ينخفض ضغط الأمين عند دخوله خزان الوميض. يمكن استرداد الميثان إلى نظام ضغط منخفض مثل نظام وقود المنشأة.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

تعتمد التخفيضات على النظام ولكن من المتوقع أن تكون 90 ٪ ، على غرار تثبيت خزان وميض على وحدة تجفيف الجليكول^3. تختلف التكاليف حسب حجم الخزان المركب.

استراتيجية الهندسة والتصميم 12: جهاز التحكم في الغاز الحمضي

عادة ما يكون الغاز الحمضي الذي يتم تصريفه من المعالجة بالأمين مرتفعًا جدًا في تركيز ثاني أكسيد الكربون والكبريت ، مع تركيز صغير من الهيدروكربونات. قد يلزم التحكم في الغاز الحمضي ، لأسباب تتعلق بالسلامة أو لتلبية المعايير البيئية. لا يحتوي الغاز الحمضي الذي يحتوي على نسبة عالية من ثاني أكسيد الكربون على محتوى حراري (القيمة الحرارية) غير كافٍ ليتم حرقه في الشعلة أو المحرقة. يمكن إضافة 'غاز مساعد' ، غاز الوقود عادة ، إلى الغاز الحمضي لرفع المحتوى الحراري إلى 300 وحدة حرارية بريطانية / قدم مكعب قياسي على الأقل (11.2 ميجا جول / متر مكعب قياسي)[12]. قد يكون الغاز المساعد المطلوب كبيرًا جدًا اعتمادًا على حجم الغاز الحمضي المراد استرداده. يمكن استخدام المؤكسدات الحرارية المباشرة لأكسدة الميثان ، لكن المؤكسدات الحرارية التقليدية تحتاج إلى كمية كبيرة من الوقود للحفاظ على غرفة الاحتراق عند درجة الحرارة المطلوبة.

تعتبر المؤكسدات الحرارية "الاسترجاعية" أو "المتجددة" أكثر الطرق فعالية في استهلاك الوقود للسيطرة على الغازات الحمضية. تستعيد أجهزة التحكم هذه الحرارة المفقودة ، مما يقلل من كمية الوقود اللازمة للحفاظ على غرفة الاحتراق عند درجة حرارة عالية بما فيه الكفاية.

متطلبات التشغيل

تحتاج المؤكسدات الحرارية إلى تصميم خاص للغازات المسببة للتآكل مثل الغازات الحمضية. تحتاج المؤكسدات الحرارية أيضًا إلى طاقة لتشغيل المراوح وأجهزة التحكم والصمامات.

تخفيض الانبعاثات والتقييم الاقتصادي

تعتمد التخفيضات على حجم وحدة الأمين. أبلغت إحدى الشركات عن توفير ما يصل إلى 750،000 دولار أمريكي سنويًا في تكاليف الوقود عن طريق استبدال مؤكسد حراري بمؤكسد حراري متجدد[13].

قائمة التحقق

تتيح لك قائمة التحقق التالية تقييم تقدمك في تقليل انبعاثات الميثان من خلال تصميم الأنظمة.

النشاط	المنجز	النسبة المئوية لجميع المعدات أو العمليات في هذا البرنامج
إدراج تخفيض الميثان في ممارسة التصميم المعياري		
استخدام معدات كهربائية وميكانيكية و الهواء المضغوط حيثما أمكن ذلك		
مركزية المنشآت		
استخدام خطوط الأنابيب لنقل النفط والغاز الطبيعي من المنشآت		
استرداد الميثان حيثما أمكن		
التحكم في غاز الميثان حيث يكون الاسترداد غير ممكن		
استخدام معدات وعمليات بديلة منخفضة الانبعاثات		
استخدام معدات وعمليات بديلة قليلة الصيانة		

الملحق 1: استراتيجيات التقليل التي يمكن استخدامها في مرحلة التصميم

مصدر الانبعاثات	وصف استراتيجية التخفيف	الدليل المرجعي
1. حرق الغاز	**إعادة الحقن** حقن الغاز مرة أخرى في مكمن النفط أو الغاز لزيادة الاسترداد.	الحرق
	نقل الغاز الطبيعي المضغوط (CNG) بالشاحنات ضغط الغاز الطبيعي ليتم نقله خارج الموقع بواسطة الشاحنات.	الحرق
	استرداد سوائل الغاز الطبيعي (NGL) استخدم نظامًا لاسترداد سوائل الغاز الطبيعي.	الحرق
	الغاز إلى طاقة استخدم توربينات الغاز أو محرك ترددي لتوليد الكهرباء.	الحرق
2. صهاريج التخزين: الغاز الوامض	**استخدام وحدات استعادة البخار (VRUs)** قم بتثبيت وحدة VRU بحيث يمكن استخدام الغاز أو بيعه أو حرقه.	التنفيس الحرق
	تقليل ضغط التشغيل في منشآت التنقيب والإنتاج تركيب أبراج التثبيت أو برج استرداد البخار (VRT) قبل الخزانات لتقليل ضغط الغاز.	التنفيس الحرق
	زيادة ضغط الخزان ضبط أجهزة تنفيس الضغط عند أو بالقرب من ضغط التصميم لصهريج التخزين.	التنفيس
	القضاء على الخزانات في مواقع الإنتاج استخدام أنظمة النقل الأوتوماتيكي للتأجير (LACT) لنقل السوائل مباشرة من الفواصل إلى خط الأنابيب.	التنفيس
3. صهاريج التخزين: انبعاثات التحميل وتفريغ	**إضافة أنظمة قياس أوتوماتيكية** تقضي أنظمة القياس الأوتوماتيكية على الحاجة لفتح منفذ قياس صهاريج التخزين أثناء التشغيل الاعتيادي وعند تحميل السوائل على الشاحنات للنقل.	التنفيس
	ادخال نظامًا لموازنة أو تبادل الأبخرة بين الخزانات ومركبات الخزانات تجمع خطوط إسترداد البخار الأبخرة المتنحاة من الشاحنات أثناء تحميل السوائل من الخزانات وإما تقوم بإعادة الأبخرة إلى الخزانات (توازن البخار) أو إرسالها إلى جهاز تحكم.	التنفيس

مصدر الانبعاثات	وصف استراتيجية التخفيف	الدليل المرجعي
4. الضواغط: بقوة الطرد المركزي	**استخدام الأختام الجافة** قم بشراء الضواغط ذات الأختام (مناعة التسرب) الجافة فقط. (حوالي 90٪ من الضواغط بها أختام جافة). تستخدم الأختام الجافة طاقة أقل بشكل عام ، وهي أكثر موثوقية وتحتاج إلى صيانة أقل.	التنفيس
5. الضواغط: بادئ الحركة	**استخدام بادئ حركة كهربائي** يمكن التخلص من الانبعاثات باستخدام بوادئ حركة كهربائية بدلاً من البوادئ الهوائية المدفوعة بالغاز الطبيعي.	التنفيس استخدام الطاقة
	استخدام بوادئ حركة تعمل بالهواء المضغوط يمكن التخلص من الانبعاثات باستخدام بوادئ حركة مدفوعة بالهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي.	التنفيس استخدام الطاقة
	توجيه الانبعاثات من البوادئ إلى وحدة استرداد البخار (VRU) أو الحرق يتم توجيه الغاز الطبيعي من البوادئ الهوائية إلى وحدة استرداد البخار بحيث يمكن استخدامه أو بيعه أو إرساله إلى الشعلة.	التنفيس
6. مجففات جلايكول: متنفّس إعادة التجديد	**استخدام نظام تجفيف بلا انبعاثات** أنظمة مجففات الديسيكانت لا تنتج أي انبعاثات أثناء العمليات الاعتيادية.	التنفيس
	استخدام مضخة الجليكول غير المشبّع الكهربائية المضخات الكهربائية تلغي الحاجة إلى استخدام المضخات الهوائية التي تعمل بالغاز الطبيعي.	التنفيس
	استخدام عازلات خزان الوميض تفصل خزانات الوميض بعض الميثان عن الجليكول المشبّع قبل إعادة إعادة نشط الجليكول بحيث يمكن إعادته إلى العملية أو استخدامه (على سبيل المثال ، كوقود).	التنفيس
7. الأجهزة الهوائية	**استخدام الأجهزة الكهربائية أو الميكانيكية** استخدام الأجهزة الميكانيكية أو الكهربائية يلغي الحاجة إلى الأجهزة الهوائية.	الأجهزة الهوائية
	استخدام نظام الهواء المضغوط استخدام الهواء المضغوط بدلاً من الغاز الطبيعي لتشغيل الأجهزة الهوائية.	الأجهزة الهوائية

مصدر الانبعاثات	وصف استراتيجية التخفيف	الدليل المرجعي
	استخدام التنفيس المتقطع أو الأجهزة منخفضة الاستنزاف يستخدم التنفيس المتقطع و الأجهزة منخفضة الاستنزاف غازًا طبيعيًا أقل من الأجهزة ذات الاستنزاف العالي.	الأجهزة الهوائية
8. استخدام الوقود	**تركيب ضواغط كهربائية** المعدات التي تستخدم الغاز الطبيعي كوقود تحرر بعض الميثان الذي لم يحترق. تعمل الضواغط الكهربائية على القضاء على استخدام الغاز الطبيعي كوقود.	استخدام الطاقة
	استبدال مفرغ الاسطوانة تقوم وحدات التفريغ بتسريب الميثان من خلال الحلقات الدائرية والأغطية وحشوات الضغط.	استخدام الطاقة
	تركيب أدوات التحكم في نسبة الهواء إلى الوقود أدى الاستخدام المتزايد لأجهزة التحكم في نسبة الهواء إلى الوقود في محركات الضاغط للتحكم في كمية الوقود المستخدمة إلى محركات احتراق أكثر كفاءة ، والتي تستخدم وقودًا أقل.	استخدام الطاقة

المراجع

1 The Interstate Natural Gas Association of America (INGAA) Foundation Inc, 'North America Midstream Infrastructure through 2035, June 2018

2 Frank Alonso and Carolyn AE Greenwell, 'Underground vs Overhead: Power Line Installation-Cost Comparison and Mitigation', presentation at the Electric Light & Power Executive conference, February 2013, Available at **www.elp.com/articles/powergrid_international/print/volume-18/issue-2/ features/underground-vs-overhead-power- line-installation-cost-comparison-.html**

3 Natural Gas Star Program 'Recommended Technologies to Reduce Methane Emissions', a program by the United States Environmental Protection Agency (US EPA), Available at **www.epa.gov/natural-gas-star-program/recommended-technologies-reduce-methane-emissions**

4 Mandatory Greenhouse Gas Reporting Rule (MGGR) for Petroleum and Natural Gas Systems, 40 CFR Part 98, Subpart W

5 Occidental Petroleum Corporation and California Independent Petroleum Association 'Vapor Recover Tower/VRU Configuration ', presented at the Natural Gas STAR Producers Technology Transfer Workshop, August 2007

6 Kent A Pennybaker, 'Optimizing Field Compressor Station Designs', for River City Engineering Inc, Society of Petroleum Engineers, March 1998

7 US EPA, 2017 Greenhouse Gas Reporting Program Industrial Profile: Petroleum and natural gas systems

8 Industry Statewide Hydrocarbon Emissions Reduction (SHER) LACT and Tankless subgroup 'Lease Automatic Custody Transfer (LACT) and Reduced Oil Tank Facilities', July 2018, Available at **www.drive.google.com/open?id=1NMareyGM9jXizG5uXM- mzHuozQrJKM5e**

9 US EPA, Background Technical Support Document for the Proposed Reconsideration of the New Source Performance Standards 40 CFR Part 60, subpart OOOOa, September 2018

10 MPLX LP, 'Pipeline Launcher/Receiver Emission Reduction Systems, 'Available at **www.mplx.com/content/documents/mplx/markwest/Launcher%20Receiver%20Design%20Detail. pdf**

11 US EPA, 'MarkWest Clean Air Act Settlement Information Sheet', May 2018 Available at **www.epa.gov/enforcement/markwest-clean- air-act-settlement-information-sheet**

12 New Source Performance Standards (NSPS) 40 CFR Part 60.18 General Control Device and Work Practice Requirements

13 Anguil Environmental Systems Inc, ‘Amine Tail Gas Treatment’, Available at **www.anguil.com/case-studies/natural-gas-processing/amine- tail-gas-treatment**