INSTALLING PLUNGER LIFT SYSTEMS IN GAS WELLS
تركيب أنظمة الروافع ذات الكباسات في آبار الغاز

ملخص تنفيذي

في آبار الغاز الإنتاجية، من الممكن أن يتسبب تراكم السوائل داخل البئر في تعطيل إنتاج الغاز، بل قد يسبب ذلك أحياناً إيقاف الإنتاج. ويتم الحفاظ على تدفق الغاز عن طريق التخلص من السوائل المتراكمة من خلال استخدام مضخة معلقة أو وسائل إصلاحية، مثل تنظيف أو صوبنة أو تهوية البر بتعريضها للضغط الجوي (يُشار إلى ذلك باسم "تصريف" البئر). وقد تسفر عمليات التخلص من السوائل، ولاسيما عمليات تصريف البئر، عن انبعاثات كبيرة لغاز الميثان إلى الغلاف الجوي.

يُعتبر تركيب نظام رافعة ذات كباس بديلاً فعالاً للتكاليف من أجل التخلص من السوائل. ولأنظمة الرفع هذه فائدة إضافية تتمثل في زيادة الإنتاج، علاوة على تقليل انبعاثات الميثان بدرجة كبيرة مع عمليات التصريف. وتستفيد الرافعة ذات الكباس من تراكم ضغط الغاز داخل البئر في رفع عمود من السائل المتراكم إلى خارج البئر. كما يساعد نظام الرافعة ذات الكباس في الحفاظ على إنتاج الغاز، ويمكنه أن يقلل الحاجة إلى عمليات إصلاحية أخرى.

يؤكد شركاء "ستار للغاز الطبيعي" وجود فوائد اقتصادية كبيرة وانخفاضات ملحوظة لانبعاثات الميثان من جراء تركيب أنظمة الروافع ذات الكباسات داخل آبار الغاز. وقد ذكرت الشركات في تقاريرها وصول وفورات الغاز السنوية إلى ما يقرب من ٦٠٠ ألف قدم مكعب (أ.ق.م) للبئر وذلك عن طريق تجنب عمليات التصريف. وإضافة إلى ذلك، نجد أن الزيادة في إنتاج الغاز عقب تركيب الرافعة ذات الكباس قد حققت فوائد إجمالية للغاز تصل إلى ١٨٢٥٠ ألف قدم مكعب للبئر، وهو ما يُقدّر بحوالي ١٢٧٧٥٠ دولار أمريكي. وتكون الفوائد الناجمة عن كلٍ من زيادة إنتاج الغاز ووفورات الانبعاثات خاصة بالبئر وبالمكمن، ولذلك سوف تتباين إلى حدٍ كبير.

وسيلة تقليل انبعاثات الميثان	وفورات الغاز المحتملة من إنتاج الغاز المتزايد والانبعاثات المتجنبة (أ.ق.م/سنوياً)	قيمة إنتاج الغاز الطبيعي والوفورات (دولار)	تكلفة التنفيذ (دولار/بئر)	فترة تعويض تكلفة المشروع (شهر)
تركيب نظام رافعة ذات كباس	٤٧٠٠ – ١٨٢٥٠٠[٢] للبئر	٣٢٩٠٠ – ١٢٧٧٥٠ دولار	٢٥٩١ – ١٠٣٦٣ دولار	٢-١٤ شهراً

[١] تبلغ قيمة الغاز ٧ دولار أمريكي لكل ألف قدم مكعب.
[٢] استناداً إلى النتائج التي ذكرها شركاء "ستار للغاز الطبيعي".

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

الدروس المستفادة

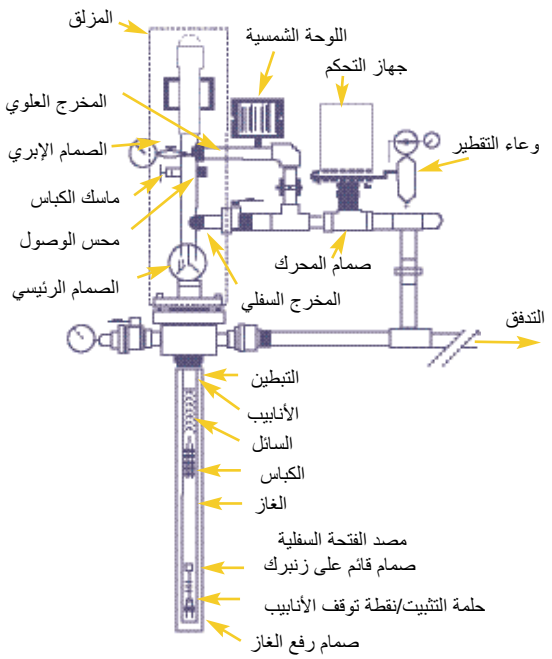
الخلفية الفنية

تمثل تعبئة السائل من حفرة البئر في الغالب مشكلة خطيرة في الآبار الإنتاجية القديمة. وتقوم الشركات عموماً باستخدام مضخات الروافع المعلقة أو الوسائل الإصلاحية، مثل تهوية أو "تصريف" البئر للضغط الجوي، وذلك من أجل التخلص من تراكم السوائل واستعادة قدرة البئر الإنتاجية. إلا أن هذه الأساليب تسفر عن فقدان الغاز. وفي حالة تصريف البئر، يجب تكرار هذه العملية عبر الوقت نظراً لتراكم السوائل من جديد، مما يسفر عن انبعاثات إضافية لغاز الميثان.

تمثل أنظمة الروافع ذات الكباسات بديلاً فعالاً للتكاليف لكلٍ من الروافع المعلقة وعمليات تصريف البئر، ويمكن لهذه الأنظمة أن تقلل الفاقد في الغاز بدرجة كبيرة، وتحد من أو تقلل تكرار وسائل المعالجة المستقبلية للبئر، وتحسّن قدرة البئر الإنتاجية. ونظام الرافعة ذات الكباس عبارة عن أحد أشكال الرفع المتقطع للغاز، الذي يستخدم تراكم ضغط الغاز في حلقة التبطين-الأنابيب لدفع كباس من الصلب، وعمود السائل من أمامه، لأعلى في أنابيب البئر حتى يصل إلى السطح. ويعمل الكباس هنا بمثابة مكبس بين السائل والغاز، حيث إنه يقلل ارتداد السائل إلى الحد الأدنى، كما يعمل بمثابة مكشطة للقشور والبارافين. ويصور "الملحق ١" نظاماً نموذجياً لرافعة ذات كباس.

يعتمد تشغيل نظام الرافعة ذات الكباس على التراكم الطبيعي للضغط داخل بئر الغاز خلال الفترة التي تكون فيها البئر مغلقة (غير منتجة). يجب أن يكون ضغط البئر المغلقة أعلى بكثير من ضغط خط المبيعات من أجل رفع الكباس وعبوة السائل إلى السطح. وتقوم آلية صمام، يتم التحكم بها بواسطة معالج دقيق، بتنظيم دخول الغاز في تبطين البئر، كما تقوم هذه الآلية بأتمتة العملية. ويتم تشغيل جهاز التحكم في العادة بواسطة بطارية شمسية قابلة لإعادة لشحن، وقد يكون عبارة عن دورة مؤقت بسيطة أو يشتمل على ذاكرة حالة صلبة أو وظائف قابلة للبرمجة وفقاً لمحسات العملية.

الملحق ١: الروافع ذات الكباسات



تنطوي عملية تشغيل نظام نموذجي لرافعة ذات كباس على الخطوات التالية:

١. يستقر الكباس على زنبرك مصد الفتحة السفلية الموجود في قاع البئر. وعندما يتم إنتاج الغاز وإخراجه إلى خط المبيعات، تتراكم السوائل في حفرة البئر، محدثةً بذلك تزايداً تدريجياً في الضغط المرتد مما يبطئ إنتاج الغاز.

٢. لعكس الانخفاض الذي حدث في إنتاج الغاز، يتم إغلاق البئر عند السطح بواسطة جهاز تحكم آلي. يتسبب ذلك في ارتفاع ضغط البئر لأن كمية كبيرة من الغاز عالي الضغط تتراكم في الحلقة الموجودة بين التبطين والأنابيب. وما أن يتم الحصول على كمية كافية من الغاز والضغط، يتم دفع الكباس وعبوة السائل إلى السطح.

٣. وعندما يتم رفع الكباس إلى السطح، يتدفق كل من الغاز والسوائل المتراكمة فوق الكباس من خلال المخارج العليا والسفلى .

٤. يصل الكباس ويتم إمساكه في المزلق، الموجود عبر مخرج المزلق العلوي

٥. والغاز الذي قام برفع الكباس يتدفق عبر المخرج السفلي إلى خط المبيعات.

٦. وما أن يصبح الغاز مستقراً، يقوم جهاز التحكم الآلي بتحرير الكباس، وإسقاطه مرة أخرى إلى أسفل الأنابيب .

٧. يتم تكرار هذه الدورة.

تشتمل أنظمة تكنولوجيا المعلومات الحديثة على آلية مراقبة وتحكم سهلة للروافع ذات الكباسات. وعلى سبيل المثال، تتيح تكنولوجيات من قبيل إدارة البيانات الفورية والاتصال بالقمر الصناعي للمشغلين إمكانية التحكم في أنظمة الروافع ذات الكباسات عن بُعد، دون الحاجة إلى القيام بزيارات دورية إلى ميدان العمل. ولا يزور المشغلون إلا الآبار التي تحتاج إلى اهتمام، مما يزيد من الكفاءة ويقلل التكلفة .

الدروس المستفادة

الفوائد الاقتصادية والبيئية

يُعتبر تركيب نظام رافعة ذات كباس حلاً فعالاً للتكاليف للروافع المعلقة وعمليات تصريف البئر، حيث إنه يحقق فوائد اقتصادية وبيئية كبيرة. ويعتمد مدى هذه الفوائد وطبيعتها على نظام التخلص من السوائل الذي يُستبدل به نظام الرافعة ذات الكباس

- **تكلفة رأسمالية أقل مقابل تركيب معدات الروافع المعلقة.** تُعتبر تكاليف تركيب وصيانة نظام رافعة ذات كباس أقل بوجهٍ عام من تكلفة تركيب وصيانة معدات الروافع المعلقة.

- **صيانة أقل للبئر ووسائل إصلاحية أقل.** وتنخفض التكاليف الكلية لصيانة البئر لأن الوسائل الإصلاحية الدورية مثل المسح أو عمليات تصريف البئر تصبح أقل أو تنعدم الحاجة إليها مع أنظمة الروافع ذات الكباسات.

- **يعمل الإنتاج المستمر على تحسين معدلات إنتاج الغاز وزيادة الكفاءة والفعالية.** إذ يمكن لأنظمة الروافع ذات الكباسات الحفاظ على طاقة الرفع داخل البئر وزيادة إنتاج الغاز. كما أن التخلص من السوائل بصورة منتظمة يتيح للبئر إنتاج الغاز باستمرار ويحول دون تعبئة السوائل التي تتسبب بصفة دورية في إيقاف إنتاج الغاز أو "إيقاف" البئر بأكمله. ويسفر التخلص المستمر من السوائل في كثير من الأحيان عن معدلات إنتاج يومية للغاز أعلى من معدلات الإنتاج قبل تركيب الروافع ذات الكباسات.

- **تقليل تراكم البارافين والقشور.** في الآبار التي يمثل تراكم البارافين والقشور مشكلة، من الممكن للحركة الميكانيكية للكباس الذي يتحرك صعوداً وهبوطاً خلال الأنابيب أن تحول دون تراكم الجسيمات داخل الأنابيب. ولذلك، قد تقل أو تنعدم الحاجة إلى وسائل معالجة كيميائية أو تنظيف. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه يتم تصنيع العديد من أنواع الكباسات المختلفة باستخدام "الحلقات التراوحية" بغرض تحسين أداء "الكشط"

- **انبعاثات أقل للميثان.** يعمل الحد من الوسائل الإصلاحية وأعمال صيانة البئر المتكررة كذلك على تقليل انبعاثات الميثان. وقد ذكر شركاء "ستار للغاز الطبيعي" وصول وفورات الغاز السنوية لديهم إلى ما يقرب من ٦٠٠ ألف قدم مكعب للبئر وذلك عن طريق تجنب عمليات التصريف، وما يقرب من ٣٠ ألف قدم مكعب سنوياً عن طريق الحد من أعمال الصيانة.

- **فوائد اقتصادية أخرى.** عند حساب الفوائد الاقتصادية للروافع ذات الكباسات، لا تمثل الوفورات الناجمة عن الانبعاثات المتجنبة سوى عاملٍ واحدٍ فقط من عدة عوامل يتم اعتبارها في التحليل. فقد تنتج وفورات إضافية من القيمة التخريدية لمعدات الإنتاج الفائضة والانخفاض المترتب على ذلك في تكاليف الكهرباء وأعمال الصيانة. وعلاوة على ذلك، فإن الآبار التي تقوم على نحو مستمر بنقل المياه خارج حفرة البئر تتمتع بإمكانية إنتاج المزيد من المكثفات والزيت.

عملية اتخاذ القرار

وينبغي على المشغلين تقييم الروافع ذات الكباسات كبديل لمعدات الروافع المعلقة وتصريف البئر. وهكذا، يجب اتخاذ قرار تركيب نظام رافعة ذات كباس على أساس حالة بحالة. ويستطيع الشركاء استخدام عملية اتخاذ القرارات التالية كدليل لتقييم إمكانية تطبيق أنظمة الروافع ذات الكباسات وفعاليتها للتكاليف بالنسبة لآبار إنتاج الغاز الخاصة بهم.

أربع خطوات لتقييم أنظمة الروافع ذات الكباسات:

١. تحديد الجدوى الفنية لتركيب رافعة ذات كباس؛
٢. تحديد تكلفة نظام الرافعة ذات الكباس؛
٣. تقدير الوفورات الناجمة عن تركيب رافعة ذات كباس؛ و
٤. تقييم الاقتصاديات الخاصة بالروافع ذات الكباسات

الخطوة ١: تحديد الجدوى الفنية لتركيب رافعة ذات كباس. يمكن استخدام وتطبيق الروافع ذات الكباسات في آبار الغاز التي تعاني من تعبئة السوائل ويوجد بها كميات كبيرة من الغاز وضغط مغلق زائد لرفع السوائل من المكمن إلى السطح. يعرض "الملحق ٢" أربع سمات مشتركة للآبار، والتي تُعد مؤشرات جيدة لإمكانية استخدام وتطبيق الروافع ذات الكباسات. وسوف يقوم البائعون في الغالب بتقديم المواد المكتوبة المصممة بغرض مساعدة المشغلين في التأكد مما إذا كان بئر معين سوف يستفيد من تركيب نظام رافعة ذات كباس. وكمثال لذلك، فإن البئر الذي يبلغ عمقه ٣٠٠٠ قدم، وينتج إلى خط مبيعات بمعدل ١٠٠ psig (رطل لكل بوصة مربعة)، يكون الضغط المغلق به ١٥٠ psig (رطل لكل بوصة مربعة) ويجب تهويته وتصريفه في الجو يومياً لإخراج متوسط ثلاثة براميل يومياً من تراكم المياه. يحتوي هذا البئر ضغط مغلق زائد بدرجة كافية، وسوف يتعين عليه إنتاج ٣٦٠٠ قدم مكعب قياس يومياً (٤٠٠ قدم مكعب قياس/برميل/١٠٠٠ قدم عمق مضروباً في ٣٠٠٠ قدم عمق، مضروباً في ٣ براميل من المياه يومياً) لتبرير استخدام رافعة ذات كباس.

الملحق ٢: المتطلبات المشتركة لاستخدامات الروافع ذات الكباسات

- ★ تُعتبر عمليات تصريف البئر وأساليب التخلص من السوائل الأخرى ضرورية في الحفاظ على الإنتاج.
- ★ يجب أن تنتج الآبار ما لا يقل عن ٤٠٠ قدم مكعب قياس من الغاز لكل برميل من السوائل لكل ١٠٠٠ قدم من العمق.
- ★ الآبار التي يبلغ ضغط فوهة البئر المغلق بها ١,٥ ضعف ضغط خط المبيعات.
- ★ الآبار التي يتراكم بها القشور أو البارافين.

الخطوة ٢: تحديد تكلفة نظام الرافعة ذات الكباس. تشتمل التكاليف المرتبطة بالروافع ذات الكباسات على رأس المال ومصروفات بدء التشغيل ومصروفات العمالة اللازمة لشراء وتركيب المعدات، إضافة إلى التكاليف المستمرة اللازمة لتشغيل وصيانة النظام. وتشتمل هذه التكاليف على الآتي:

- ★ **تكاليف رأس المال وتكاليف التركيب وبدء التشغيل. يتكلف التركيب الأساسي للرافعة ذات الكباس ما يقرب من ١٩٠٠ دولار إلى ٧٨٠٠ دولار.** وعلى الجانب الآخر، يتكلف تركيب معدات الضخ السطحية، مثل الرافعة المعلقة، ما بين ٢٦٠٠٠ دولار ٢٥٠٠٠ دولار. وتتضمن تكاليف تركيب الرافعة ذات الكباس تركيب الأنابيب والصمامات وجهاز التحكم ومصدر الطاقة على

فوهة البئر وإعداد تجميع مصد الرافعة عند الفتحة السفلية بافتراض أن أنابيب البئر مفتوحة وخالية من أي شوائب. ويُعتبر أكبر متغير في تكلفة التركيب هو مد كبل معدني لقياس ومعايرة الأنابيب (التحقق من الانسدادات الداخلية) واختبار الرافعة من أعلى لأسفل (التقوير) وذلك للتأكد من أن الرافعة تتحرك بحرية لأعلى وأسفل داخل الأنابيب المتصلة. ومن الممكن أن تشتمل تكاليف بدء التشغيل الأخرى على مسح عمق البئر والتنظيف للتخلص من السوائل الموجودة في حفرة البئر والإحماض للتخلص من القشور المعدنية وتنظيف الثقوب، واستخراج الحطام من داخل البئر والعمليات الأخرى المتنوعة لتنظيف البئر. ومن الممكن أن تتراوح تكاليف بدء التشغيل الإضافية هذه بين ٧٠٠ ودولار وأكثر من ٢٦٠٠ دولار.

مؤشرات نيلسون للأسعار

لتقدير التضخم في تكاليف تشغيل وصيانة المعدات، يتم استخدام مؤشرات نيلسون-فرار للتكلفة الربع سنوية (ويمكن الإطلاع عليه في العدد الأول الذي يصدر كل ربع عام من مجلة النفط والغاز)، وذلك لتحديث التكاليف في وثائق "الدروس المستفادة".

يستخدم "مؤشر عمليات التكرير" لمراجعة تكاليف التشغيل، بينما يُستخدم "مؤشر الآلات: التكلفة المفصلة لتكرير النفط" بغرض تحديث تكاليف المعدات.

ويمكن استخدام هذه المؤشرات مستقبلاً كما يلي: يتم البحث عن أحدث رقم لمؤشر نيلسون-فرار، ثم يُقسم هذا الرقم على رقم مؤشر نيلسون-فرار الساري في فبراير ٢٠٠٦ . وفي النهاية يتم ضرب الناتج في التكاليف المناسبة الواردة في "الدروس المستفادة".

وجدير بالذكر أنه يجب على المشغلين ممن يفكرون في تركيب رافعة ذات كباس أن يلاحظوا احتياج النظام إلى أنابيب متصلة مع الحفاظ على ثبات حجم القطر الداخلي وبقائه في حالة جيدة. وإذا اقتضى الأمر إحلال الأنابيب المتصلة، ينشأ عن ذلك زيادة تكلفة التركيب بعدة آلاف من الدولارات اعتماداً على عمق البئر.

- ★ **تكاليف التشغيل.** تتطلب صيانة الرافعة ذات الكباس إجراء فحوصات روتينية على المزلق والكباس. ومن الناحية النموذجية، يجب إحلال هذه العناصر عند انقضاء فترة تتراوح بين ٦ و١٢ شهراً، وتبلغ تكلفة ذلك ما يتراوح بين ٧٠٠ و١٣٠٠ دولار سنوياً تقريباً. وفضلا عن ذلك، يتم إجراء فحوصات على المكونات الأخرى للنظام بصفة سنوية.

الخطوة رقم ٣: تقدير الوفورات الناجمة عن تركيب رافعة ذات كباس. تتضمن الوفورات المرتبطة بالرافعة ذات الكباس الغاطس ما يلي:

- ★ الإيرادات الناشئة عن زيادة الإنتاج.
- ★ الإيرادات الناشئة عن الانبعاثات المتجنبة.
- ★ التكاليف المتجنبة الإضافية – تكاليف معالجة الآبار، خفض تكاليف الكهرباء تكاليف أعمال الصيانة؛
- ★ القيمة التخريدية.

الدروس المستفادة

الإيرادات الناشئة عن زيادة الإنتاج

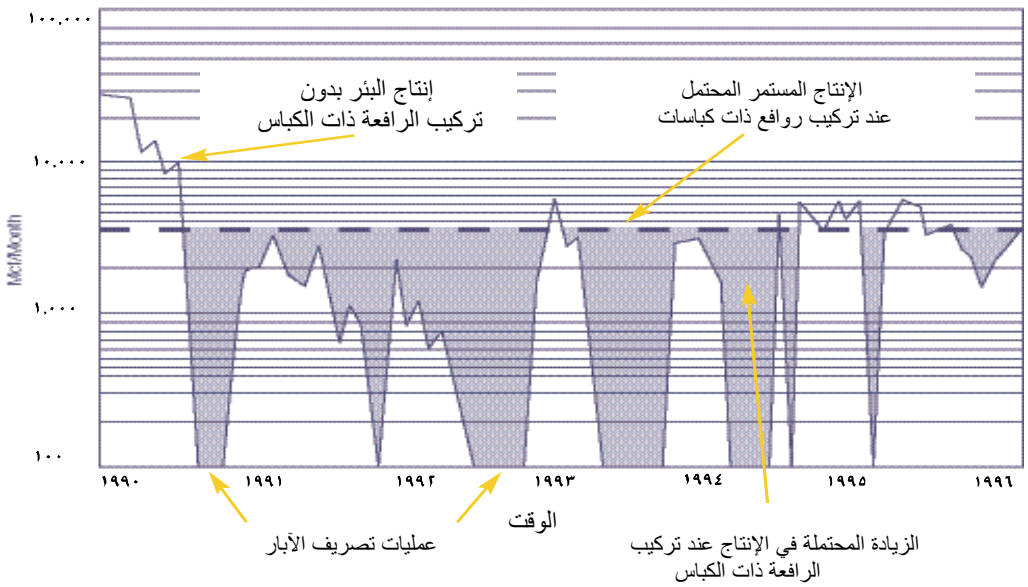
تتمثل أهم مزايا تركيب الرافعة ذات الكباس في زيادة إنتاج الغاز. والواقع أنه لا يمكن قياس معدل زيادة الإنتاج بصورة مباشرة خلال عملية اتخاذ القرار، ومن ثم يلزم تقديره. ونجد عند إجراء هذا التقدير أن الطريقة المتبعة لتقدير هذه الزيادة المتوقعة في الإنتاج تختلف استناداً إلى حالة البئر. ذلك أنه يمكن اتباع طريقة مباشرة نسبياً لتقدير هذه الزيادة بالنسبة إلى الآبار ثابتة الإنتاج أو الآبار التي تتميز بإنتاج غير متناقص. وعلى النقيض، تتسم طريقة تقدير الزيادة في إنتاج الآبار متناقصة الإنتاج بالتعقيد.

★ **تقدير زيادة إنتاج الغاز بالنسبة للآبار غير متناقصة الإنتاج.** يمكن تقدير الزيادة في إنتاج الغاز الناجمة عن تركيب رافعة ذات كباس عن طريق افتراض أن متوسط أعلى معدل إنتاج محقق بعد تصريف البئر يقترب من أعلى معدل إنتاج محتمل للبئر عند التخلص من السوائل. وفضلا عن ذلك، يمكن استخدام سجل للبئر لتقدير معدل الزيادة المحتمل في الإنتاج، كما هو موضح في "الملحق ٣".

في هذا الملحق، يوضح الخط المتصل معدل إنتاج البئر تدريجياً، الذي يشهد انحداراً شديداً عند تراكم السوائل في الأنابيب. ثم يستعيد الإنتاج حالته الأصلية عند تهوية البئر وتعريضها للهواء، غير أنه ينخفض مرة أخرى نتيجة إعادة تراكم السوائل. وهنا يرجى ملاحظة أن مقياس معدل الإنتاج (ألف قدم مكعب لكل شهر) هو مقياس لوغاريثمي. ويوضح الخط المتقطع متوسط أعلى معدل إنتاج بعد التخلص من السوائل، ويُفترض أن يساوي ذلك أعلى معدل إنتاج محتمل يمكن تحقيقه عند تركيب نظام الرافعة ذات الكباس، وهو يبلغ بصورة نموذجية ٨٠ بالمائة من معدل أعلى إنتاج بعد تصريف البئر على الأقل. وتمثل المنطقة المظللة بين الإنتاج المحتمل (الخط المتقطع) والإنتاج الفعلي للبئر (الخط المتصل) الزيادة التقديرية لكمية إنتاج الغاز التي يمكن تحقيقها عند تركيب نظام الرافعة ذات الكباس.

الملحق ٣: زيادة الإنتاج بالنسبة للآبار غير متناقصة الإنتاج

بئر Spiro Formation Well 9N-27E الخاص بشركة خدمات التحكم في الآبار



★ **تقدير الزيادة في الإنتاج بالنسبة إلى الآبار متناقصة الإنتاج في حالة عدم معرفة أقصى مستوى للإنتاج بعد تصريف البئر.** الواقع أن الآبار التي يتناقص إنتاجها أو التي يتم تشغيلها دون إجراء عمليات تصريف دورية لها تقتضي أن يتم تحديد طرق أكثر تفصيلاً لتقدير الزيادة في الإنتاج في حالة تركيب نظام الرافعة ذات الكباس. فعلى سبيل المثال، يتطلب تركيب الرافعة ذات الكباس على الآبار متناقصة الإنتاج تحقيق تحسن في منحنى الانخفاض نتيجة انخفاض الضغط على الثقوب. وفي هذا الصدد، يجب أن يلتمس المشغلون مساعدة مهندس مكامن عند اتخاذ قرارات في هذا الشأن (انظر الملحق).

الدروس المستفادة

وبمجرد تقدير الزيادة في الإنتاج الناجمة عن تركيب رافعة ذات كباس، يستطيع المشغلون حساب قيمة الزيادة في الغاز، فضلاً عن تقدير الاقتصاديات المرتبطة بتركيب الرافعة ذات الكباس. وتوضيحاً، يرد في "الملحق ٧" مثالاً عن العوائد المالية المحتملة عند المستويات المختلفة من الزيادة في إنتاج الغاز. وجدير بالذكر أنه يعد ضرورياً إدراك احتمال وجود تفاوت بين التكاليف والظروف المحلية. وعلاوة على ذلك، يرجى أيضاً ملاحظة أنه لا يرد في المثال الموضح في "الملحق ٤" الفوائد المالية الأخرى الناشئة عن مشروع تركيب رافعة ذات كباس، على غرار الانبعاثات المتجنبة وانخفاض تكاليف الكهرباء المستهلكة وتكاليف المعالجة الكيميائية، التي يرد شرحاً لها فيما بعد في "الدروس المستفادة". وقد يؤدي أخذ هذه المزايا الإضافية بعين الاعتبار إلى تحسين العوائد المالية الناجمة عن تركيب الرافعة ذات الكباس، وهي عوائد ممتازة حتى دون اعتبار هذه المزايا الإضافية.

الملحق ٤: مثال على العوائد المالية التقديرية عند مستويات مختلفة لزيادة إنتاج الغاز نتيجة تركيب رافعة ذات كباس

الزيادة في إنتاج الغاز (ألف متر مكعب يومياً)	فترة تحقيق أرباح من المشروع (شهر)	معدل العائد الداخلي
٣	١٤	٧١
٥	٨	١٤١
١٠	٤	٣٠٩
١٥	٣	٤٧٥
٢٠	٢	٦٤٠
٢٥	٢	٨٠٤
٣٠	٢	٩٦٩

الافتراضات: تبلغ قيمة الغاز ٧ دولار أمريكي لكل ألف قدم مكعب تبلغ تكلفة نظام الرافعة ذات الكباس ٧٧٧٢ دولار أمريكي، بما في ذلك تكلفة بدء التشغيل تبلغ مصاريف الإيجار التشغيلي ٧٩٠ دولار أمريكي سنوياً انخفاض الإنتاج بنسبة ٦% سنوياً المصدر: شركة خدمات التحكم في الإنتاج

الإيرادات الناشئة عن الانبعاثات المتجنبة

تتفاوت معدلات انخفاض كمية انباعاثات الغاز الطبيعي بصورة كبيرة من بئر لأخرى، وذلك وفقاً للخصائص الفردية التي تميز كل بئر ومكمن، مثل ضغط خط المبيعات وضغط المكمن عند إيقاف تدفق البئر ومعدل تراكم السوائل وأبعاد البئر (العمق وقطر أنبوب تبطين البئر وقطر الأنابيب). ورغم ذلك، تعد أكثر المتغيرات أهمية هي ممارسة التشغيل العادي لتهوية الآبار. إذ يقوم بعض المشغلين بوضع مؤقتات تهوية آلية للآبار، بينما يقوم آخرون بتهوية الآبار يدوياً تحت مراقبة المشغل. وثمة مشغلون يقومون بفتح فتحات تهوية الآبار ثم يغادرون الموقع، ويعودون إليه بعد بضعة ساعات أو أيام، استناداً إلى الوقت الذي يستغرقه البئر في التخلص من السوائل. وبالتالي، تختلف المزايا الاقتصادية الناشئة عن الانبعاثات المتجنبة بصورة كبيرة أيضاً. ونتيجة هذه التفاوتات الشاسعة، تستغرق بعض المشروعات فترات أقصر لاسترداد تكاليفها مقارنة بمشروعات أخرى. وفي الغالب الأعم، يُعزى تركيب الرافعة ذات الكباس إلى زيادة معدلات إنتاج الغاز فقط، بيد أن هذا النظام يحقق أيضاً مزايا إضافية تتمثل في انخفاض انبعاثات الميثان.

- **الانبعاثات المتجنبة عند إحلال عمليات تصريف البئر.** تتميز الآبار التي تم فيها تركيب نظام الرافعة ذات الكباس بإمكانية انخفاض الانبعاثات الناشئة عن تصريف البئر. والواقع أن الانبعاثات الناشئة عن تصريف البئر تختلف بصورة كبيرة في معدلات تكررها وتدفقها، علاوة على أنها تتحدد وفقاً لكل بئر ومكمن. وقد تم تسجيل الانبعاثات الناشئة عن أنشطة تصريف الآبار بمعدل يتراوح بين ألف قدم مكعب سنوياً وبضعة آلاف قدم مكعب سنوياً لكل بئر. وبناءً على ذلك، تتفاوت الوفورات التي يمكن تحقيقها نتيجة الانبعاثات المتجنبة بصورة كبيرة استناداً إلى البيانات الخاصة بكل بئر محدد يتم إصلاحه.

الدروس المستفادة

يمكن حساب العائدات الناشئة عن الانبعاثات المتجنبة عن طريق ضرب القيمة السوقية للغاز في حجم الانبعاثات المتجنبة. ويجب تقدير الانبعاثات الناشئة عن كل عملية تصريف لكل بئر في حالة عدم قياسها. وفي المثال الموضح أدناه، تقدر قيمة الغاز المُصرف من بئر غاز منخفضة الغاز عند كل عملية تصريف بما يبلغ ٠,٥٦٢٥ ضعف معدل التدفق المستدام للغاز. ووفقا لمعامل الانبعاث الموضح أعلاه، تبلغ نسبة متوسط التدفق المتكامل في فترة تصريف البئر ٥٦,٢٥ بالمائة من تدفق البئر الكامل. وبناءً على هذا الافتراض، يوضح "الملحق ٦" أنه بالنسبة إلى بئر لم يتم فيها تصريف الغاز ويبلغ معدل إنتاجها ١٠٠ آلف قدم مكعب يومياً، يمكن تقدير الغاز الذي تم تصريفه إلى الهواء بمعدل ألفي قدم مكعب لكل ساعة تستغرقها عملية تصريف البئر.

تعد هذه الطريقة سهلة الاستخدام، بيد أن الأدلة المستنبطة من التجارب تدل على أن هذه الطريقة تُخرج تقديرات منخفضة بشكل غير واقعي لانبعاثات الميثان المتجنبة. للاطلاع على طريقة بديلة لتقدير انبعاثات الميثان المتجنبة، انظر الملحق.

نتيجة درجة التفاوت الكبيرة بين الانبعاثات الناتجة عن الخصائص المميزة لكل بئر ومكمن، يعد القياس أفضل طريقة يمكن اتباعها لتحديد الانبعاثات المتجنبة، كما يمكن إجراء قياسات ميدانية لاستخلاص البيانات الضرورية بغرض تحديد الوفورات الناشئة عن الانبعاثات المتجنبة بدقة.

★ **الانبعاثات المتجنبة عند إحلال الروافع المعلقة.** في حالة إحلال الروافع ذات الكباسات محل الروافع المعلقة وليس محل عمليات التصريف، يمكن تجنب الانبعاثات عن طريق انخفاض عمليات الصيانة لإجراء الإصلاحات الميكانيكية وإزالة الحطام وتنظيف فتحات الثقوب وإزالة رواسب القشرية المعدنية والبارافين من أذرع السحب. وقد تم تسجيل متوسط الانبعاثات المرتبطة بعمليات الصيانة بمعدل ألفي قدم مكعب تقريباً لكل عملية صيانة، كما تم تسجيل تكرار عمليات الصيانة بعدد يتراوح بين ١ إلى ١٥ عملية سنوياً. وتتفاوت الانبعاثات المتجنبة بصورة كبيرة نتيجة بعض الخصائص المميزة للآبار مثل التدفق خلال عملية الصيانة والفترة التي تستغرقها عملية الصيانة وتكرارها.

الملحق ٥: مثال: تقدير الانبعاثات المتجنبة والناشئة عن عمليات تصريف البئر

الانبعاثات المتجنبة لكل ساعة من التصريف = (٠,٥٦٢٥١ × معدل التدفق اليومي المستدام) / ٢٤ ساعة يومياً.

الانبعاثات المتجنبة[٢] = (٠,٥٦٥٢ × ١٠٠ ألف قدم مكعب يومياً) / ٢٤=٢ ألف قدم مكعب يومياً.

القيمة السنوية للانبعاثات المتجنبة[٣] الناشئة عن عملية التصريف = ألفي قدم مكعب × ٧ دولار أمريكي / ألف قدم مكعب = ١٦٨ دولار أمريكي.

[١] عامل انبعاثات الميثان الموصى به، والمُسجل في دراسة مشتركة بين وكالة حماية البيئة ومبادرة التقارير العالمية، بعنوان انبعاثات الميثان من صناعة الغاز الطبيعي، المجلد رقم ٧. نشاطات النفخ والتنظيف (يونيو ١٩٩٥). تنص الدراسة على أنه في بداية عملية تصريف البئر، تتسبب السوائل في البئر في تقليل تدفق الغاز، بحيث يصل معدلها إلى ٢٥ بالمائة من التدفق الكامل. وعند بلوغ نهاية عملية التصريف، تعود نسبة تدفق الغاز إلى ١٠٠ بالمائة. ويبلغ متوسط التدفق المتكامل خلال فترة تصريف البئر ٥٦,٢٥ بالمائة من تدفق البئر الكامل.

[٢] بناء على افتراض أن معدل الإنتاج اليومي المستدام يبلغ ١٠٠ ألف قدم مكعب يومياً.

[٣] بناء على افتراض إجراء عملية تصريف واحدة شهرياً تدوم لمدة ساعة واحدة.

التكاليف متجنبة والفوائد الإضافية

تعتمد التكاليف المتجنبة على نوع أنظمة التخلص من السوائل الموجودة حالياً، إلا أن هذه التكاليف قد تشتمل على المعالجة المتجنبة للبئر وتكاليف الكهرباء المخفضة وتكاليف الصيانة المخفضة. ويمكن تطبيق تكاليف المعالجة المتجنبة للبئر عندما يتم استبدال الروافع ذات الكباسات بالروافع المعلقة أو التقنيات العلاجية الأخرى مثل التصريف أو التنظيف أو الصوبنة. وتعتبر تكاليف الكهرباء المخفضة وتكاليف الصيانة المخفضة والقيمة التخريدية المستردة هي التكاليف التي يمكن تطبيقها فقط إذا تم استبدال الروافع ذات الكباسات بالروافع المعلقة.

الدروس المستفادة

★ **تكاليف المعالجة المتجنبة للبئر.** تتضمن تكاليف معالجة البئر عمليات المعالجة الكيميائية وعمليات التنظيف الميكروبية والتخلص من الأذرع وكشط فتحة الحفرة. وتبين المعلومات المستمدة من الآبار الضحلة عمق ١٥٠٠ قدم أن تكاليف معالجة البئر تتضمن التخلص من الأذرع وإصلاح الأنابيب بتكلفة تزيد عن ١٤٥٠٠ دولار للبئر. وقد تم ذكر تكاليف المعالجة الكيميائية (المواد المانعة والمذيبات والمشتتات والسوائل الساخنة والمعدلات البلورية والمواد الخافضة للتوتر السطحي) في كتابات بتكلفة تصل إلى ١٣٢٠٠ دولار بحد أدنى للبئر سنوياً. وقد تبين أن التكاليف الميكروبية اللازمة لتقليل البارافين تبلغ ٦٦٠٠ دولار للبئر سنوياً (يُرجى ملاحظة أن عمليات المعالجة الميكروبية لا تتعامل مع مشكلة تدفق السوائل). وتزداد كل تكلفة من تكاليف المعالجة هذه كلما تزداد شدة القشرة أو البارافين، وكلما زاد عمق البئر.

★ **تكاليف الكهرباء المخفضة مقارنة بالروافع المعلقة.** تساعد تكاليف التشغيل الكهربائية المخفضة على زيادة العائد الاقتصادي للروافع ذات الكباسات بدرجة كبيرة. وليست هناك تكاليف كهربائية مرتبطة بالروافع ذات الكباسات، لأن معظم أجهزة التحكم تعمل بالطاقة الشمسية مع وجود بطارية احتياطية. ويعرض الملحق ٦ مجموعة من تكاليف الكهرباء المتجنبة التي ذكرها المشغلون الذين قاموا بتركيب الروافع ذات الكباسات. ومع افتراض أن فترة التشغيل تبلغ ٣٦٥ يوم، تتراوح تكاليف الكهرباء المتجنبة من ١٠٠٠ دولار إلى ٧٣٠٠ دولار سنوياً.

الملحق ٦: تكاليف الكهرباء[١] المتجنبة من خلال استخدام رافعة ذات كباس بدلاً من رافعة معلقة

حجم المحرك (القدرة الحصانية الكابحة)	تكلفة التشغيل (دولار/ يومياً)
١٠	٣
٢٠	٧
٣٠	١٠
٤٠	١٣
٥٠	١٧
٦٠	٢٠

[١] تُقدر تكلفة الكهرباء بـ ٥٠ في المائة من الحمل الكامل، تشغيل ٥٠ في المائة من الوقت، بتكلفة تبلغ ٧,٥ سنت/ ك.و.س.

★ **تكاليف الصيانة المخفضة مقارنة بالروافع المعلقة.** ذُكر أن تكاليف الصيانة المرتبطة بالروافع المعلقة تبلغ ١٣٠٠ دولار يومياً. ورغم أن أعمال الصيانة النمطية قد تستغرق يوماً واحداً إلا أن الآبار التي تزيد أعماقها عن ٨٠٠٠ قدم سوف تحتاج إلى أكثر من يوم واحد من وقت الصيانة. واستناداً لنوع البئر، قد تكون هناك حاجة إلى إجراء عمليات صيانة بداية من ١ إلى ١٥ عملية سنوياً. ويتم تجنب هذه التكاليف من خلال استخدام رافعة ذات كباس.

★ **القيمة التخريدية المستردة عند استبدال رافعة معلقة.** إذا حلت الرافعة ذات الكباس التي يتم تركيبها محل رافعة معلقة، سيتم تحقيق دخل إضافي وعائد اقتصادي أفضل من القيمة التخريدية لمعدات الإنتاج القديمة. ويبين "الملحق ٧" القيمة التخريدية التي يمكن الحصول عليها من خلال بيع وحدات الضخ الفائضة. ففي بعض الحالات، قد تقوم مبيعات التصفية وحدها بتسديد تكاليف تركيب الروافع ذات الكباسات.

الدروس المستفادة

الملحق ٧: القيمة التخريدية[١] للمعدات القديمة عند الانتقال من عمليات الروافع المعلقة إلى عمليات الروافع ذات الكباسات.	
وفورات رأس المال من تصفية المعدات	
حجم وحدة الضخ (عزم التدوير بالبوصة-الرطل)	القيمة التخريدية للمعدات (بالدولار)
١١٤٠٠٠	١٢٣٠٠
١٦٠٠٠٠	١٦٨٠٠
٢٢٨٠٠٠	٢١٣٠٠
٣٢٠٠٠٠	٢٧٢٠٠
٤٥٦٠٠٠	٣٤٣٠٠
٦٤٠٠٠٠	٤١٥٠٠
[١] تشتمل تكاليف التصفية على قيمة بيع متوقعة منخفضة لوحدة الضخ والمحرك الكهربائي وسلسلة القضبان.	

الخطوة ٤: تقييم اقتصاديات الروافع ذات الكباسات. من الممكن استخدام تحليل التدفق النقدي الأساسي لمقارنة تكاليف وفوائد رافعة ذات كباس بخيارات التخلص من السوائل الأخرى. ويبين "الملحق ٨" ملخصاً للتكاليف المرتبطة بكل خيار من الخيارات.

الملحق ٨: مقارنة تكلفة رافعة ذات كباس مقابل خيارات أخرى			
فئة التكلفة	رافعة ذات كباس	رافعة معلقة تقليدية	الوسيلة الإصلاحية[١]
رأس المال وتكاليف التشغيل	١٩٤٣– ٧٧٧٢ دولار	٢٥٩٠٧ -٥١٨١٣ دولار	٠ دولار
تكاليف التنفيذ:			
الصيانة ٢	١٣٠٠ دولار/سنوياً	١,٣٠٠- ١٩٥٠٠ دولار/ سنوياً	٠ دولار
معالجة البئر ٣	٠ دولار	+١٣٢٠٠ دولار	دولار ١٣٢٠٠+
الكهرباء٤	٠ دولار	١,٠٠٠– ٧٣٠٠ دولار /سنوياً	٠ دولار
التصفية	٠ دولار	(١٢٠٠٠-٤١٥٠٠ دولار)	٠ دولار
١ تشمل الصوبنة والتنظيف والتصريف.			
٢ بالنسبة لتكاليف صيانة الروافع المعلقة التقليدية تشمل أعمال الصيانة ويُفترض أن تكون هناك عمليات صيانة بداية من ١ إلى ١٥ عملية صيانة سنوياً بتكلفة قدرها ١٣٠٠ لكل عملية.			
٣ قد تختلف التكاليف حسب طبيعة السائل.			
٤ تفترض تكاليف الكهرباء الخاصة بالرافعة ذات الكباس أن تعمل الرافعة بالشمس وتعمل بشكل جيد.			

الدروس المستفادة

★ **الاقتصاديات الخاصة باستبدال رافعة ذات كباس برافعة معلقة** في "الملحق ٩" يتم استخدام البيانات من الملحق ٨ لتخطيط بئراً افتراضية سعة ١٠٠ ألف قدم مكعب ولتقييم اقتصاديات تركيب رافعة ذات كباس. وتبلغ الزيادة في الإنتاج ٢٠ ألف قدم مكعب يومياً، مما يحقق زيادة سنوية في الإنتاج تصل إلى ٧٣٠٠ ألف قدم مكعب. ومع افتراض أن الانتقال إلى رافعة ذات كباس يساعد على إجراء عملية صيانة واحدة سنوياً قبل التركيب، إلا أنه يوفر كذلك ألفي قدم مكعب من الانبعاثات المتجنبة سنوياً. ويستفيد المشروع من القيمة التخريدية الخاصة بمعدات الرافعة المعلقة الفائضة بدرجة كبيرة، مما يحقق تعويض تكلفة المشروع بشكل فوري. حتى في حالة عدم استعادة القيمة التخريدية، وقد يحقق المشروع تعويضاً لتكلفة المشروع بشكل فوري بعد بضعة شهور فقط استناداً لإنتاجية البئر.

الملحق ٩: التحليل الاقتصادي لاستبدال رافعة ذات كباس برافعة معلقة

	السنة ٠	السنة ١	السنة ٢	السنة ٣	السنة ٤	السنة ٥
قيمة الغاز من الإنتاج المتزايد والانبعاثات المتجنبة	٥١١١٤ دولار	٥١١١٤ دولار	٥١١١٤ دولار	٥١١١٤ دولار	٥١١١٤ دولار	٥١١١٤ دولار
معدات الروافع ذات الكباسات وتكلفة الإعداد	(٧٧٧٢ دولار)					
صيانة الرافعة ذات الكباس	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)
التكلفة الكهربائية سنوياً	٠ دولار	٠ دولار	٠ دولار	٠ دولار	٠ دولار	٠ دولار
القيمة التخريدية لمعدات الرافعة المعلقة	(٢١٣٠٠ دولار)					
عمليات الصيانة المتجنبة للرافعة المعلقة (عملية صيانة واحدة/سنوياً)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)	(١٣٠٠ دولار)
تكاليف الكهرباء المتجنبة للرافعة المعلقة (محرك ١٠ حصان)	(١٠٠٠ دولار)	(١٠٠٠ دولار)	(١٠٠٠ دولار)	(١٠٠٠ دولار)	(١٠٠٠ دولار)	(١٠٠٠ دولار)
وسائل المعالجة الكيميائية المتجنبة	(١٣٢٠٠ دولار)	(١٣٢٠٠ دولار)	(١٣٢٠٠ دولار)	(١٣٢٠٠ دولار)	(١٣٢٠٠ دولار)	(١٣٢٠٠ دولار)
صافي التدفق النقدي	(١٣٥٢٨ دولار)	(٦٥٣١٤ دولار)	(٦٥٣١٤ دولار)	(٦٥٣١٤ دولار)	(٦٥٣١٤ دولار)	(٦٥٣١٤ دولار)

ص ق ح (صافي القيمة الحالية)[٢] = ٢٦١١١٩ دولار
فترة تعويض تكلفة المشروع= بشكل فوري

[١] يُقدر الغاز بقيمة ٧ دولار لكل ألف قدم مكعب مقابل ٧٣٠٠ ألف قدم مكعب بفضل الإنتاج المتزايد وألفين قدم مكعب من الانبعاثات المتجنبة لكل حالة (استناداً لعملية صيانة واحدة سنوياً).
[٢] صافي القيمة الحالية طبقاً لمعدل خصم حالي يصل إلى ١٠ في المائة على مدار ٥ سنوات.

الدروس المستفادة

★ **الاقتصاديات الخاصة بتجنب التصريف باستخدام رافعة ذات كباس** يستخدم الملحق ١٠ البيانات من الملحق ٨ لتقييم الاقتصاديات الخاصة ببئر افتراضية سعة ١٠٠ ألف قدم مكعب يتم فيه تركيب رافعة ذات كباس لاستبدال التصريف باعتبارها طريقة للتخلص من السوائل من البئر. وبافتراض أن الإنتاج المتزايد يبلغ ٢٠ ألف قدم مكعب يومياً فإن الزيادة السنوية في الإنتاج سوف تبلغ ٧٣٠٠ ألف قدم مكعب. بالإضافة إلى ذلك، سوف تكون هناك وفورات من الانبعاثات المتجنبة أثناء عملية التصريف. وإذا افترضنا أن هناك ١٢ عملية تصريف لمدة ساعة يومية فإن الانبعاثات المتجنبة سوف تبلغ ٢٤ ألف قدم مكعب سنوياً.

عند تقييم الخيارات الخاصة بتركيب أنظمة روافع ذات كباسات على آبار الغاز، قد يؤثر سعر الغاز الطبيعي على عملية اتخاذ القرارات. ويوضح الملحق ١١ تحليلاً اقتصادياً لتركيب نظام رافعة ذات كباس بدلاً من تصريف البئر إلى الجو من أجل رفع السوائل المتراكمة بأسعار مختلفة للغاز الطبيعي.

دراسات الحالة

حقل ميدلاند فارم التابع لشركة بي بي (أموكو سابقاً)

إن شركة أموكو، الشريكة في ميثاق "ستار للغاز الطبيعي" (التي تم دمجها الآن مع شركة "بي بي")، وثقت نجاحها في إحلال الروافع ذات الكباسات محل معدات الإنتاج من الآبار التي تستخدم المضخات القضيبية ذات الروافع المعلقة في حقل ميدلاند فارم. وقبل تركيب أنظمة الروافع ذات الكباسات، استخدمت أموكو تركيبات الروافع المعلقة ذات القضبان المصنوعة من الألياف الزجاجية. إن معدات الروافع هي في الأساس وحدات ضخ ٦٤٠ باوند في البوصة تعمل بمحركات ٦٠ حصان وقد لاحظ أفراد العمليات أن الآبار الموجودة في الحقل كان بها الكثير من المشكلات، حيث كان البارافين يغطي حفرة البئر والقضبان الماصة، مما حال دون تدفق السوائل وتداخل مع حركة القضبان الماصة المصنوعة من الألياف الزجاجية. ولذلك، تم النظر إلى الروافع ذات الكباسات باعتبارها حلاً ممكناً لمنع تراكم البارافين عند الفتحة السفلية.

وقد بدأت أموكو في برنامج استبدال الروافع ذات الكباسات في مشروع تجريبي في بئر أحادي. وبناءً على نجاح تلك التجربة، فقد قامت أموكو بالتوسع في عملية الاستبدال ليشمل الحقل بأكمله. ونتيجة للنجاح الذي تحقق في حقل ميدلاند فارم، فقد قامت أموكو بتركيب ١٩٠ وحدة من الروافع ذات الكباسات في مواقعها بمدينتي دنفر وصن داون، في ولاية تكساس، لتحل محل تطبيقات الروافع المعلقة.

الملحق ١٠: التحليل الاقتصادي لاستبدال رافعة ذات كباس بعملية تصريف

	السنة ٠	السنة ١	السنة ٢	السنة ٣	السنة ٤	السنة ٥
قيمة الغاز من الإنتاج المتزايد والانبعاثات المتجنبة	٥١٢٦٨ دولار	٥١٢٦٨ دولار	٥١٢٦٨ دولار	٥١٢٦٨ دولار	٥١٢٦٨ دولار	٥١٢٦٨ دولار
معدات الروافع ذات الكباسات وتكلفة الإعداد	٧٧٧٢ دولار					
صيانة الرافعة ذات الكباس	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار
التكلفة الكهربائية سنوياً	٠ دولار	٠ دولار	٠ دولار	٠ دولار	٠ دولار	٠ دولار
القيمة التخريدية لمعدات الرافعة المعلقة	٢١٣٠٠ دولار					
عمليات الصيانة المتجنبة للرافعة المعلقة (عملية صيانة واحدة/سنوياً)	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار	١٣٠٠ دولار
تكاليف الكهرباء المتجنبة للرافعة المعلقة (محرك ١٠ حصان)	١٠٠٠ دولار	١٠٠٠ دولار	١٠٠٠ دولار	١٠٠٠ دولار	١٠٠٠ دولار	١٠٠٠ دولار
وسائل المعالجة الكيميائية المتجنبة	١٣٢٠٠ دولار	١٣٢٠٠ دولار	١٣٢٠٠ دولار	١٣٢٠٠ دولار	١٣٢٠٠ دولار	١٣٢٠٠ دولار
صافي التدفق النقدي	١٣٥٢٨ دولار	٦٥٣١٤ دولار	٦٥٣١٤ دولار	٦٥٣١٤ دولار	٦٥٣١٤ دولار	٦٥٣١٤ دولار

ص ق ح (صافي القيمة الحالية)[٢] = ٢٣١٦٨٤ دولار
فترة تعويض تكلفة المشروع= شهرين

[١] يُقدر الغاز بقيمة ٧ دولار لكل ألف قدم مكعب مقابل ٧٣٠٠ ألف قدم مكعب بفضل الإنتاج المتزايد وألفين قدم مكعب من الانبعاثات المتجنبة لكل حالة (استناداً لعملية صيانة واحدة سنوياً).
[٢] صافي القيمة الحالية طبقاً لمعدل خصم حالي يصل إلى ١٠ في المائة على مدار ٥ سنوات.

الملحق ١١: تأثير سعر الغاز على التحليل الاقتصادي

	٣ دولار/ألف قدم مكعب	٥ دولار/ألف قدم مكعب	٧ دولار/ألف قدم مكعب	٨ دولار/ألف قدم مكعب	١٠ دولار/ألف قدم مكعب
قيمة الغاز الموفر	٢١٩٧٢ دولار	٣٦٦٢٠ دولار	٥١٢٦٨ دولار	٢٥٩٤٤٨ دولار	٧٣٢٤٠ دولار
فترة تعويض تكلفة المشروع (شهور)	٣	٢	٢	٢	٢
المعدل الداخلي للعائد (م د ع)	%٤٣٦	%٦٢٤	%٨١٣	%٩٠٧	%١٠٩٥
صافي القيمة الحالية (i=١٠%)	١٢٠٦٣٠ دولار	١٧٦١٥٧ دولار	٢٣١٦٨٤ دولار	٣٥٨٥٩٢ دولار	٣١٤٩٧٦ دولار

الدروس المستفادة

التكاليف والفوائد

قدرت أموكو أن تكاليف تركيب نظام الرافعة ذات الكباس بما في ذلك معدات الكباس وتحويل الأنابيب هي ١٣٠٠٠ دولار تقريبا للبئر الواحد (كانت التكاليف التجريبية الأولية أعلى من المتوسط أثناء مرحلة التعلم بما في ذلك تكاليف تحويل الأنابيب).

ثم قامت أموكو بعد ذلك بحساب الوفورات الناتجة عن التكاليف المتجنبة في ثلاثة جوانب، هي الكهرباء وأعمال الصيانة والمعالجة الكيميائية. وبشكل إجمالي فقد وجدت أموكو أن التكاليف المتجنبة للكهرباء والصيانة والتحكم في البارافين تقرب من ٢٤٠٠٠ دولار للبئر الواحد سنوياً.

- الكهرباء. تم تقدير الوفورات بناءً على ٥٠% من مرات التشغيل باستخدام التكاليف من "الملحق ٦"، فإن وفورات تكلفة الكهرباء المقدرة- بلغت ٢٠ دولار في اليوم.
- الصيانة. في المتوسط، كانت أموكو تقوم بعملية صيانة مرة واحدة في العام لكل بئر لإصلاح أجزاء القضبان. وفي أنظمة الروافع المعلقة القديمة، فإن تكلفة هذه العملية كانت ٤٠٠٠ دولار، أو ما يساوي ١١ دولار في اليوم.
- المعالجة الكيميائية. لقد تحققت أكبر الوفورات من المعالجة الكيميائية المتجنبة، حيث كانت أموكو قادرة على توفير ١٣٠٠٠ دولار تقريباً للبئر الواحد في السنة نظير التحكم في البارافين وذلك لأن عملية تشغيل الكباس نجحت في التخلص من تراكم البارافين داخل الأنابيب.

الزيادة في إنتاج الغاز المتزايد والعوائد

في أول تركيب للرافعة ذات الكباس، حققت أموكو زيادة في إنتاج الغاز بما يزيد عن ٤٠٠ أ.ق.م في اليوم. ومع التوسع في تركيب الروافع ذات الكباسات في الحقل بأكمله، فقد حققت الشركة نجاحاً ملحوظاً في العديد من الآبار - على الرغم من أن بعض الآبار لم تشهد زيادة في الإنتاج أو كانت الزيادة بها قليلة أثناء فترة التقييم التي استمرت لمدة ٣٠ يوماً. أما زيادة الإنتاج الكلية (بما في ذلك الإنتاج الإضافي والغاز غير المنبعث) في كل الآبار التي تم تركيب الروافع ذات الكباسات فيها، فقد بلغت ١٣٤٨ أ.ق.م في اليوم. أما متوسط الوفورات السنوية من الغاز، والتي يفترض أن تكون أقل في الإنتاج بنسبة ٦%، فبلغت ١١٢٧٤ أ.ق.م للبئر أو ٧٨٩١٨ للبئر بأسعار ٢٠٠٦. يلخص الملحقان ١٢ و١٣ النتائج الأولية واقتصاديات السنة الأولى، لتركيب شركة أموكو للرافعة ذات الكباس في حقل ميدلاند فارم. وإضافة إلى وفورات الغاز ووفورات التكلفة الناشئة عن تركيبات الرافعة ذات الكباس، فقد حققت أموكو مكسباً آخر يحدث لمرة واحدة من بيع وحدات الضخ والمحركات، مما أدى إلى عائد إضافي يبلغ ٤١٥٠٠ دولار لعملية التركيب.

الملحق١٢: التغير في معدلات الإنتاج بسبب تركيب الرافعة ذات الكباس في حقل ميدلاند فارم بولاية تكساس

رقم البئر	الإنتاج قبل تركيب الرافعة ذات الكباس			الإنتاج بعد ٣٠ يوماً من التركيب		
	الغاز (أ.ق.م/يومياً)	النفط (برميل/يومياً)	المياه (برميل/يومياً)	الغاز (أ.ق.م/يومياً)	النفط (برميل/يومياً)	الغاز (أ.ق.م/يومياً)
١	٢٣٣	٦	١	٦٧٦	٥	١
٢	٢٨٠	١٥	١	٣٤٥	١٥	١
٣	٢٤٠	١٣	٢	٥٣١	٣٣	١١
٤	١٨٠	١٢	٢	١٨٠	١٦	٣
٥	٢٥٠	٥	٢	٥٠٠	٥	٢
٦	٩٥	٨	٢	٧٥	١٢	٠
٧	١٢٥	١٣	١	١٢٥	١٤	٠
٨	٥٥	٦	١	٥٥	١٣	٢
٩	١٢٠	٤٥	٦	١٧٥	٤٠	٠
١٠	١٦٠	١٦	٣	٣٤٣	١٧	٣
١١	١٨٠	٧	١٢	٨٠	٦	٠
١٢	٢١٥	١٥	٤	٣٨٨	٢١	٢
١٣	١٢٢	٨	٨	١٢٤	١٢	٧
١٤	٨٨	٥	١٠	٢٣	٩	١
متوسط	١٦٧	١٢	٤	١٥٨	١٦	٣

[١] يصل عمق جميع الآبار تقريباً إلى ١١٤٠٠ قدم. المصدر: النفط العالمي، نوفمبر، ١٩٩٥

الدروس المستفادة

التحليل

فيما يلي ملخص بالتكاليف والفوائد المرتبطة ببرنامج تركيب الرافعة ذات الكباس في شركة أموكو في "الملحق ١٣". في العام الأول من التشغيل، حققت الشركة متوسط وفورات سنوية بلغ ٩٠٢٠٠ دولار للبئر الواحد بأسعار ٢٠٠٦. هذا إضافة إلى أن الشركة حققت ٤١٥٠٠ دولار تقريبا للبئر الواحد من بيع معدات الرافعة المعلقة بأسعار ٢٠٠٦.

الملحق ١٣: اقتصاديات استبدال الرافعة ذات الكباسات بالرافعة المعلقة في شركة "بي بي"

متوسط الوفورات السنوية من الغاز[١] (أ.ق.م/سنوياً)	قيمة الغاز المتوفر سنوياً[٢]	تكلفة تركيب الرافعة ذات الكباس للبئر	تكلفة صيانة القضبان المتجنبة للبئر سنوياً	المعالجة الكيميائية المتجنبة للبئر سنوياً	تكاليف الكهرباء المتجنبة للبئر يومياً	متوسط الوفورات للبئر[٣]	القيمة التخريدية الإضافية لبيع الرافعة المعلقة للبئر
١١٢٧٤ دولار	٧٨٩١٨ دولار	١٣٠٠٠ دولار	٤٠٠٠ دولار	١٣٠٠٠ دولار	٢٠ دولار	٩٠٢٠٠ دولار	٤١٥٠٠ دولار

[١] متوسط إنتاج الغاز الأولي – ١٣٤٨ أ.ق.م./يومياً. يفترض انحداراً في الإنتاج السنوي بنسبة ٦%.
[٢] كانت قيمة الغاز ٧,٠٠ دولار أمريكي لكل أ.ق.م.
[٣] تم تحديد متوسط القيمة المتوفرة بين ١٤ بئراً.

حقل بيج بيني التابع لشركة إكسون موبيل

قامت شركة موبيل للبترول، الشريكة في ميثاق "ستار للغاز الطبيعي" (التي تم دمجها الآن مع شركة إكسون)، بتركيب أنظمة روافع ذات كباسات في ١٩ بئر في حقل بيج بيني في ولاية وايومنج. وقد تم تركيب أول رافعتين من ذوات الكباسات سنة ١٩٩٥، وقد تم تجهيز الآبار الأخرى بالمعدات سنة ١٩٩٧. كنتيجة لهذه التركيبات، فقد قللت موبيل من انبعاثات الغاز التصريفية الكلية بنسبة ١٢١٦٦ أ.ق.م سنوياً. وبالإضافة إلى تقليل انبعاثات الميثان، نجح نظام الرافعة ذات الكباس في تقليل تصريف الإيثان (٦% في الحجم)، هيدروكربونات C3 (المتفجرة) + المركبات العضوية المتطايرة (٥%) والخوامل (٢%). ويوضح "الملحق ١٤" انخفاضات الانبعاثات لكل بئر بعد تركيب الرافعة ذات الكباس.

الملحق ١٤: برنامج الرافعة ذات الكباس في حقل بيج بيني بولاية وايومنج.

رقم البئر	حجم الانبعاث قبل تركيب الرافعة (أ.ق.م/سنوياً/بئر)	حجم الانبعاث بعد تركيب الرافعة (أ.ق.م/سنوياً/بئر)	حجم الانبعاث قبل تركيب الرافعة (أ.ق.م/سنوياً/بئر)
١	١٤٥٦	٠	١٤٥٦
٢	٥٨١	٠	٥٨١
٣	١٩٥٩	٣١٨	١٦٤١
٤	٩٢٤	٠	٩٢٤
٥	١٠٥	٢٤	٨١
٦	٢٦٣	٩٥	١٦٨
٧	٧١٣	٨٠	٦٦٣
٨	٤٥٣	٠	٧٥٣
٩	٣٣٣	٠	٣٣٣
١٠	٧٦٥	٢١٧	٥٤٨
١١	١٤٤٢	١٢٩	١٣٣٣
١٢	١١٧٥	٩٩١	١٨٤
١٣	٦٩٤	٢١٥	٤٧٩
١٤	١٤١٦	١,٢٥٩	١٥٧
١٥	١١٣٢	٧٠٨	٤٢٤
١٦	١,٩٤٠	٧٠٨	٤٢٤
١٧	٧٣١	٤٦١	٢٧٠
١٨	٢٤٦	٠	٢٤٦
١٩	٥٩٤	٠	٥٩٤
اجمالي	١٧٢٢٤	٥٠٥٨	١٢١٦٦

الدروس المستفادة

نصائح حول التركيب

من الممكن أن تفيد الاقتراحات التالية في ضمان تركيب نظام الرافعة ذات الكباس دون أي مشكلات:

- **لا تستخدم عازل الاكتمال، لأنه يقلل من كمية إنتاج الغاز في رحلة الكباس الواحدة.** فبدون استخدام عازل الاكتمال، تتوفر المساحة الحلقية الفارغة بأكملها لتكوين مورد كبير للغاز المضغوط. وكلما كانت كمية الغاز أكبر، كانت كمية المياه التي يمكن رفعها أكبر.
- **ابحث عن أي عوائق في الأنابيب باستخدام حلقة قياس قبل التركيب.** إن العوائق الموجودة بالأنابيب تعوق حركة الكباس وقد تحتاج لاستبدال- أنابيب الإنتاج.
- **أمسك الكباس بعد أول رحلة له.** إن فحص الكباس للتأكد من عدم وجود أي تلف أو رمال أو قشور سيساعد على منع أي صعوبات تشغيلية في الرافعة ذات الكباس بعد ذلك، مما يسمح بالإصلاح التشغيلي المباشر بينما يعمل الطاقم ومعدات التركيب في حالة تشغيل.

الدروس المستفادة

تقدم أنظمة الروافع ذات الكباسات العديد من المزايا بما يفوق الوسائل الإصلاحية الأخرى المستخدمة في التخلص من سوائل المكمن من الآبار: زيادة مبيعات الغاز وزيادة عمر البئر وتقليل أعمال صيانة البئر وتقليل انبعاثات الميثان. وينبغي النظر إلى ما يلي بعين الاعتبار عند تركيب نظام رافعة ذات كباس

- من الممكن أن يؤدي تركيب الرافعة ذات الكباس إلى سرعة تعويض تكلفة المشروع وتحقيق عوائد استثمارات مرتفعة سواء في حالة استبدال الروافع المعلقة أو عمليات التصريف.
- من الممكن أن يقلل تركيب الرافعة ذات الكباس وبدرجة كبيرة من حجم الأعمال الإصلاحية المطلوبة خلال عمر البئر ومقدار الميثان الذي تصريفه في الهواء.
- ينبغي أن يشتمل أي تحليل اقتصادي لتركيب الرافعة ذات الكباس على الزيادة المعززة في الإنتاجية وكذلك على إطالة عمر البئر المرتبطة بذلك.
- وحتى عندما ينخفض ضغط البئر لأقل من المستوى المطلوب لرفع الكباس والسوائل مقارنة في مقابل الضغط المرتد لخط المبيعات، يكون الكباس أكثر فعالية في التخلص من السوائل في البئر الذي يتم تهويته وتصريفه في الهواء بدلاً من تصريف البئر ببساطة بدون استخدام رافعة ذات كباس.
- ينبغي تضمين انخفاض انبعاثات الميثان الناجم عن تركيب أنظمة الروافع ذات الكباسات في التقارير السنوية التي يتم تقديمها كجزء من "برنامج ستار للغاز الطبيعي"

المراجع

أبيركرومبي، بي. "الرافعة ذات الكباس" في *تكنولوجيا وسائل الرفع الصناعية*، مجلد ٢ب، من كيه.إي. براون. شركة بينويل للنشر، ١٩٨٠ (ص. ٤٨٣-٥١٨).

بيوريجارد، إي.، و بي. إل. فيرجسون. *مقدمة إلى الرافعة ذات الكباس: الاستخدامات والمزايا والعيوب*. "ورقة جمعية مهندسي البترول البحثية رقم ٢١٢٩٠" المقدمة في "اجتماع منطقة جبل روكي الإقليمي" لجمعية مهندسي البترول، بيلينجز، مونتانا، مايو ١٩٨٢.

بيسون، سي. إم.، دي. جي. نوكس، و جيه.أيتش. ستودارد. *معادلات الارتباط ومخططات المعادلات للروافع ذات الكباسات*. "ورقة بحثية رقم ٥٠١-ج" المقدمة في اجتماع فرع البترول لشركة إيمي (AIME)، نيو أورليانز، لوس أنجلس، أكتوبر ١٩٩٥.

براسي، سي. إل. و إس. جيه. مورو. *تقييم اقتصادي للرافعة الصناعية في رمال الغاز المحكمة منخفضة الضغط في مقاطعة أوشيلتري، تكساس*. "ورقة جمعية مهندسي البترول البحثية رقم ٢٧٩٣٢" المقدمة في ندوة الغاز لمنتصف القارة التابعة لجمعية مهندسي البترول، أماريللو، تكساس، مايو ١٩٩٤.

كريستيان، جيه.، لي، جيه. إف.، و بيشوب، بي. *نضوج الروافع ذات الكباسات*. النفط العالمي، نوفمبر ١٩٩٥.

إيفي وثرفورد، اتصال شخصي.

فيرجسو، بول إل.، و بيوريجارد، إي. هل ستعمل الرافعة ذات الكباس في بئري. دورة قصيرة عن البترول في الجنوب الغربي، (ص. ٣٣١-٣١٠)، ١٩٨٨.

فيشباك II، جيه. ويليام، إكسون-موبيل، اتصال شخصي.

فوس، دي. إل.، و آر. بي. جاول. معايير أداء الروافع ذات الكباسات مع خبرة التشغيل – حقل فينتورا أفينيو. ممارسات الحفر والإنتاج. معهد البترول الأمريكي، ١٩٦٥ (ص. ١٢٤-١٤٠).

جريج، ديفيد، شركة مالتي برودكتس، اتصال شخصي.

مبادرة التقارير العالمية-وكالة حماية البيئة، البحث والتطوير، انبعاثات الميثان من صناعة الغاز الطبيعي، مجلد ٢: التقرير الفني. تم إعداده لإدارة معلومات الطاقة، GRI 94/0257. ١ يونيو، ١٩٩٦.

الدروس المستفادة

لي، جيه. إف. تحليل ديناميكي لعمليات تشغيل الرافعات ذات الكباسات. "ورقة جمعية مهندسي البترول البحثية رقم ١٠٢٥٣" المقدمة في مؤتمر ومعرض الخريف الفني السنوي رقم ٥٦، سان أنطونيو، تكساس، أكتوبر ١٩٨١.

ماك أليستر، إي. دبليو. كتيب القواعد البديهية لخطوط الأنابيب، الطبعة الرابعة. شركة الخليج للنشر، ١٩٩٨ (ص. ٢٨٢-٢٨٤).

مبادرة التقارير العالمية-وكالة حماية البيئة، البحث والتطوير، انبعاثات الميثان من صناعة الغاز الطبيعي، مجلد ٢: التقرير الفني. تم إعداده لإدارة معلومات الطاقة، GRI 94/0257. ١ يونيو، ١٩٩٦.

مبادرة التقارير العالمية-وكالة حماية البيئة، البحث والتطوير، انبعاثات الميثان من صناعة الغاز الطبيعي، مجلد ٧: أنشطة التصريف والتطهير. تم إعداده لإدارة معلومات الطاقة، GRI 94/025. ٢٤ يونيو، ١٩٩٦.

لي، جيه. إف. *تحليل ديناميكي لعمليات تشغيل الرافعات ذات الكباسات*. "ورقة جمعية مهندسي البترول البحثية رقم ١٠٢٥٣" المقدمة في مؤتمر ومعرض الخريف الفني السنوي رقم ٥٦، سان أنطونيو، تكساس، أكتوبر ١٩٨١.

ماك أليستر، إي. دبليو. *كتيب القواعد البديهية لخطوط الأنابيب*، الطبعة الرابعة. شركة الخليج للنشر، ١٩٩٨ (ص. ٢٨٢-٢٨٤).

الملحق

تقدير الإنتاج التزايدي للآبار الآخذة في التناقص.

يمكننا من خلال كتاب ديك المعروف باسم "أساسيات هندسة المكمن" (١٩٩٢) أن نستخدم المعادلة التالية لحساب الزيادة في تدفق الفتحة السفلية من الضغط المخفض الذي يمكن ملاحظته عند استخدام رافعة ذات كباس. ويمكن التعبير عن معادلة تدفق لحالة شبه مستقرة كما يلي:

$$m(pavg)-m(pwf)=[(1422 \times Q \times T)/(k \times h)] \times [\ln(re/rw)-3/4+S)] \times (8.15)$$، حيث يمثل،

m(pavg)= متوسط الضغط الزائف للغاز الحقيقي

m(pwf) = تدفق البئر ذي الضغط الزائف للغاز الحقيقي

Q = معدل إنتاج الغاز

T = درجة الحرارة المطلقة

K = النفاذية

H = ارتفاع التكوين

re = نصف قطر الحد الخارجي

rw = نصف قطر حفرة البئر

S = عامل الغشاء الميكانيكي

بعد أن يتم تجميع معاملات المكمن، يمكن حل هذه المعادلة حيث تصبح Q مقابلة للتدفق المعاق مع السوائل في الفتحة (الظروف الحالية ومنحنى الحدود الحالي)، و Q لعدم وجود سوائل في الفتحة (رافعة ذات كباس نشطة ومنحنى حدود محسن). وهذا بمثابة دليل إرشادي، كما يتم تذكير المشغلين بالاستعانة بمهندس مكامن للمساعدة في هذا التقدير.

تقنية بديلة لتقييم الانبعاثات المتجنبة عند استبدال عمليات التصريف.

من الممكن إجراء تقدير تحفظي لمقدار تهوية البئر باستخدام المعادلة التالية:

مقدار التهوية السنوية، Mscf/yr = (٠,٣٧×١٠-٦) × (قطر التبطين)٤ × عمق البئر × الضغط المغلق × التهوية السنوية

في الوقت الذي يُقاس فيه قطر التبطين بالبوصة، يتم قياس عمق البئر بالقدم والضغط المغلق بالرطل للبوصة المربعة. ويبين الملحق أ١ مثال للعملية الحسابية.

هذا هو الحد الأدنى من حجم الغاز الذي سيتم تهويته وتصريفه في الهواء من البئر الذي توقف عن التدفق إلى خط المبيعات لأن علو السائل قد تراكم في الأنابيب بما يعادل فرق الضغط بين ضغط خط المبيعات والضغط المغلق. فإذا كان الضغط المغلق للبئر أكبر من ضغط خط المبيعات بمعدل مرة ونصف، كما هو مطلوب في تركيب الرافعة ذات الكباس في "الملحق ٢"، فإن حجم الغاز في تبطين البئر عند الضغط المغلق ينبغي أن يكون كافياً بحد أدنى لدفع السائل الموجود في الأنابيب إلى السطح في تدفق كتلي عندما ينخفض الضغط المرتد إلى درجة الصفر. ويستطيع الشركاء تقدير الحد الأدنى من الوقت لتهوية البئر من خلال استخدام معادلة وايموث لتدفق الغاز (حل مؤشرات وأطوال ونقاط الضغط للأنابيب المشتركة في الجداول ٣ و٤ و٥ في كتيب القواعد البديهية لخطوط الأنابيب، الطبعة الرابعة، صفحتي ٢٨٣ و٢٨٤). فإذا كانت ممارسة وخبرة الشريك هي تهوية الآبار لمدة أطول مما هو مُقدر من خلال هذه الوسائل، فمن الممكن زيادة مقدار التهوية السنوي التحفظي من خلال نسبة بسيطة من مرات التهوية الحقيقية والحد الأدنى من وقت التهوية الذي تم تقديره باستخدام معادلة وايموث.

الملحق أ١: مثال: تقدير الانبعاثات المتجنبة من عمليات التصريف
قطر التبطين ٨ بوصة عمق البئر ١٠٠٠٠ قدم الضغط المغلق ٢١٤,٧ رطل للبوصة المربعة التهوية السنوية ٥٢ (تهوية أسبوعية)
حجم التهوية السنوية = (٠,٣٧×١٠-٦) × ٨٢ × ١٠٠٠٠ × ٢١٤,٧ × ٥٢ = ٢٦٤٤ أ.ق.م./سنوياً

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

EPAxxx
xxx 2006

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

EPAxxx
٢٠٠٦ xxx