الأمم المتحدة

EP

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

Distr.
GENERAL

UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/69
18 November 2019

ARABIC
ORIGINAL: ENGLISH

اللجنة التنفيذية للصندوق المتعدد الأطراف لتنفيذ بروتوكول مونتريال
الاجتماع الرابع والثمانون
مونتريال، من 16 إلى 20 ديسمبر / كانون الأول 2019

تحديث موجز تقرير فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي بشأن المسائل المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة فيما يتعلق بالمسائل المحددة في المقرر 64/83 (هـ) (المقرر 64/83)

خلفية

1- نظرت اللجنة التنفيذية في اجتماعها الثاني والثمانين في وثيقة أعدتها الأمانة تقدم ملخصًا لمداولات الأطراف في الاجتماع الأربعين للفريق العامل مفتوح العضوية للأطراف والاجتماع الثلاثين للأطراف في بروتوكول مونتريال فيما يتعلق بتقرير فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي عن المشاكل المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة.[1]

2- وبعد المناقشة، قررت اللجنة التنفيذية، *في جملة أمور*، ما يلي:

(هـ) أن تناقش، في اجتماعها الثالث والثمانين، سبل تفعيل الفقرة 22 من المقرر 2/28 والفقرتين 5 و 6 من المقرر 5/30، وتشمل:

(1) المبادرات المرتبطة بالحفاظ على و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة لتكنولوجيات بديلة ذات قدرة منخفضة على إحداث الاحترار العالمي أو لا تحدث احترارا عالميا على الإطلاق في قطاع التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية، مثل:

أ- منهجيات لقياس التغيرات في كفاءة استخدام الطاقة؛

ب- والتدخلات الفنية المرتبطة بالحفاظ على و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة؛

[1] الوثيقة UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/65 وإضافتها الأولى.

إن وثائق ما قبل دورات اللجنة التنفيذية للصندوق المتعدد الأطراف لتنفيذ بروتوكول مونتريال
قد تصدر دون إخلال بأي قرار تتخذه اللجنة التنفيذية بعد صدورها.

(2) والمشاكل المتعلقة بالتكاليف مثل التكاليف الإضافية المصاحبة وفرص الاسترداد وتكاليف الرصد والتحقق؛

(3) والفوائد البيئية المحتملة، خاصة تلك المرتبطة بالمناخ؛

(و) وأن تطالب الأمانة بإعداد، لكي تنظر فيها اللجنة التنفيذية في اجتماعها الثالث والثمانين، ملخص لتقرير فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي بشأن المشاكل المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة[2] فيما يتعلق بالمسائل المحددة في الفقرة الفرعية (هـ) المذكورة أعلاه (المقرر 83/82).

تحليل للمقرر 83/82 (هـ) و (و)

3- يتضمن المقرر 83/82 (هـ) و (و) فقرات محددة من قرارين لاجتماعي الأطراف:

(أ) الفقرة 22 من المقرر 2/28: مطالبة اللجنة التنفيذية بأن تضع إرشادات بشأن التكاليف المرتبطة بالحفاظ على و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة لتكنولوجيات ومعدات بديلة ذات قدرة منخفضة على إحداث الاحترار العالمي، عند التخلص التدريجي من الهيدروفلوروكربونية، مع مراعاة دور المؤسسات الأخرى التي تعالج مسألة كفاءة استخدام الطاقة، عند الاقتضاء؛

(ب) والفقرة 5 من المقرر 5/30: مطالبة اللجنة التنفيذية بالبناء على عملها المستمر لاستعراض مشروعات الخدمات لتحديد أفضل الممارسات والدروس المستفادة والفرص الإضافية للحفاظ على كفاءة استخدام الطاقة في قطاع الخدمات والتكاليف ذات الصلة؛

(ج) والفقرة 6 من المقرر 5/30: مطالبة اللجنة التنفيذية بأن تأخذ في الاعتبار المعلومات المقدمة من المشروعات الإيضاحية والمشروعات القائمة بذاتها من أجل وضع إرشادات بشأن التكاليف المتعلقة بصيانة أو تحسين كفاءة استخدام الطاقة للتكنولوجيات والمعدات البديلة عند التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية.

4- عند إدراج نص القرارات المذكورة أعلاه، يكون نص التغطية الموضوعية للمقرر 83/82 (هـ) و (و) كما يلي:

مطالبة الأمانة بأن تعد للاجتماع الثالث والثمانين ملخصا لتقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي المعنية بالقرار 5/30 الصادر عن فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي بشأن المشاكل ذات الصلة بكفاءة استخدام الطاقة أثناء التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية، حتى يتسنى للجنة التنفيذية مناقشة:

(أ) وضع إرشادات التكلفة المرتبطة بالحفاظ على و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة لمعدات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية عند التحويل من المواد الهيدروفلوروكربونية إلى تكنولوجيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي أو لا تحدث احترارا عالميا على الإطلاق، والتي ينبغي أن:

(1) إدراج مبادرات مثل منهجيات لقياس التغيرات في كفاءة استخدام الطاقة والتدخلات التقنية المرتبطة بالحفاظ على و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة؛

(2) وتشمل التكاليف الإضافية المصاحبة وفرص الاسترداد وتكاليف الرصد والتحقق؛

[2] فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي في مايو/ أيار 2018: تقرير فرقة العمل المعني بالمقرر 10/29 بشأن المسائل ذات الصلة بكفاءة الطاقة أثناء التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية (المجلد 5).

(3) وتشمل الفوائد البيئية المحتملة، خاصة تلك المرتبطة بالمناخ؛

(4) وتراعي المعلومات المقدمة من المشروعات الإيضاحية لإدخال تكنولوجيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي في بلدان المادة 5 ومشروعات الهيدروفلوروكربون الاستثمارية القائمة بذاتها المعتمدة من اللجنة التنفيذية؛

(5) وتراعي دور المؤسسات الأخرى التي تعالج مسألة كفاءة استخدام الطاقة، عند الاقتضاء؛

(ب) والحفاظ على كفاءة استخدام الطاقة أو تعزيزها عند التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية في قطاع خدمة التبريد مع مراعاة أفضل الممارسات والدروس المستفادة والفرص الإضافية للحفاظ على كفاءة استخدام الطاقة المحددة من خطط قطاع خدمات التبريد المستمرة.

5- تمشياً مع المقرر 83/82 (هـ) و (و)، نظرت اللجنة التنفيذية في اجتماعها الثالث والثمانين، في الوثيقة UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42، التي تقدم ملخصًا لتقرير فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي بشأن المسائل المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة، ووافقت على مناقشة هذه الوثيقة في مجموعة الاتصال المنشأة لمناقشة المسائل المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة. وفي وقت لاحق، عند تقديم تقرير إلى اللجنة، ذكر منظم اجتماع فريق الاتصال أنه نظرًا لضيق الوقت، لم يتمكن فريق الاتصال من مناقشة الوثيقة. وفي ضوء ذلك، قررت اللجنة إرجاء نظرها في هذه الوثيقة إلى الاجتماع الرابع والثمانين (المقرر 64/83).

نطاق الوثيقة

6- استندت الوثيقة المقدمة إلى الاجتماع الثالث والثلاثين إلى تقرير فرقة تاعمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي الذي أعد قبل مايو/ أيار 2019. وبعد ذلك، أصدرت فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي، في مايو/ أيار 2019 وسبتمبر/ أيلول 2019، تقاريرا منقحة[3]. وعند استعراض التقريرالمحدّث الصادر في سبتمبر/ أيلول 2019، لاحظت الأمانة أنه تضمن تقييماً مفصلاً للتكنولوجيا وجوانب التوافر والتكاليف اللازمة لكفاءة استخدام الطاقة المرتبطة بمعدات تكييف الهواء وأجهزة التبريد التجارية المستقلة؛ كما أزال التقرير بعض الأقسام التي تم تضمينها في وثيقة الأمانة المقدمة الاجتماع الثالث والثمانين، ونظرا للمعلومات الإضافية الموضوعية الواردة في تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي الذي سيكون مفيداً لمناقشة اللجنة التنفيذية لهذه المسألة، رأت الأمانة أنه من الملائم استعراض الوثيقة المقدمة إلى الاجتماع الثالث والثمانين (ترد معظم المعلومات الإضافية في المرفقات من الثاني إلى السادس في هذه الوثيقة. ومن أجل تسهيل استعراض هذه الوثيقة، تم تظليل النص الجديد[4] بينما يظهر النص الذي تمت إزالته "كنص متوسط"

7- تتكون هذه الوثيقة، وهي تحديث للوثيقة التي قدمت إلى الاجتماع الثالث والثمانين، من الأقسام التالية:

القسم الأول ملخص الذي يسلط يبرز الجوانب الرئيسية التي يغطيها تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي فيما يتعلق بالفقرتين (هـ) و (و) من المقرر 83/82

القسم الثاني مقدمة عن كفاءة استخدام الطاقة في سياق التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية واعتماد تكنولوجيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي ولا تحدث احترارا على أُطلاق

القسم الثالث التدخلات الفنية المرتبطة بالحفاظ على و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة

[3] فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي، سبتمبر/ أيلول 2018: تقرير فرقة العمل المعنية بالمقرر 10/29 بشأن المسائل المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة أثناء التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية (المجلد 5) - التقرير النهائي المحدّث.

[4] لم يظلل النص الوارد في المرفقات الجديدة من الثاني إلى السادس لتسهيل قراءته

القسم الرابع المسائل المتعلقة بالتكاليف، بما في ذلك التكاليف الإضافية المصاحبة وفرص الاسترداد وتكاليف المراقبة والتحقق

القسم الخامس الفوائد البيئية من حيث مكافئ ثاني أكسيد الكربون

القسم السادس مشروعات إيضاحية لإدخال تكنولوجيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي ومشروعات استثمارية مستقلة للهيدروفلوروكربون

8- وتتكون هذه الوثيقة أيضا من الست مرفقات التالية:-

المرفق الأول مسرد المصطلحات المستخرجة من تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي مع بعض التفسيرات الإضافية (يرد هذا المرفق كمرجع سهل للمصطلحات المستخدمة في الوثيقة)

المرفق الثاني توافر أجهزة تكييف الهواء التي تعمل بمواد تبريد مختلفة وبمستويات كفاءة استخدام الطاقة مختلفة[5]

المرفق الثالث معلومات عن مدى توافر وتكلفة وتأثير كفاءة استخدام الطاقة وتطبيقها على المناطق المناخية لمختلف المكونات ذات الصلة بكفاءة استخدام الطاقة لمواد التبريد المتوسطة والمنخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي لأجهزة تكييف الهواء ومعدات تكييف الهواء وأجهزة التبريد التجارية المستقلة[6]

المرفق الرابع توافر مكونات معدات تكييف الهواء بمواد تبريد ذات قدرة منخفضة ومتوسطة على إحداث الاحترار العالمي

المرفق الخامس توفر المكونات لأجهزة تكييف الهواء وأجهزة التبريد التجارية المستقلة بمواد تبريد ذات قدرة منخفضة ومتوسطة على إحداث الاحترار العالمي

المرفق السادس التكاليف الإضافية المتعلقة بخط الإنتاج والتغييرات في مكونات إنتاج أجهزة تكييف الهواء المنزلية باستخدام مواد تبريد قابلة للاشتعال وتحليل التكلفة والأداء لمعدات التبريد وتكييف الهواء الموفرة للطاقة[7]

9- تمشيا مع المقرر 83/82 (و)، تم استخلاص المعلومات الواردة في هذه الوثيقة من تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي مع بعض التغييرات التحريرية[8]. تم إدخال بعض التغييرات التحريرية وقدمت توضيحات ومعلومات إضافية بناءً على مدخلات من خبير تقني مستقل نقح هذه الوثيقة. ولا يتبع تسلسل المعلومات الواردة في هذه الوثيقة ما ورد في تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي. ولم يتم تضمين أي معلومات من مصادر أخرى لأن ذلك لم يتطلبه القرار.

10- قد ترغب اللجنة التنفيذية في ملاحظة أن الوثيقتين التاليتين تناولتا بالكامل متطلبات الفقرة 5 من المقرر

[5] تشمل معلومات عن مدى توافر المنتجات القائمة على المواد الهيدروكلوروفلوروكربونية والقائمة على المواد الهيدروفلوروكربونية ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي والمنتجات ذات القدرة المنخفضة والمتوسطة على إحداث الاحترار العالمي في الأسواق المختلفة.

[6] تشمل معلومات عن الضواغط والمبادلات الحرارية وأجهزة التحكم ومكونات أخرى/ مقاييس تحسين أداء المنتجات من أجل العمليات الموفرة للطاقة بتكنولوجيات ذات قدرة منخفضة ومتوسطة على إحداث الاحترار العالمي.

[7] تقدم معلومات حول مستويات التكلفة الرأسمالية وأداء التشغيل وتحليل التكلفة لإنتاج المعدات الموفرة للطاقة في أجهزة تكييف الهواء والتبريد.

[8] يتضمن تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي المرفق ألف الذي يشمل معلومات عن التحديات الخاصة بالقطاعات التي تحول دون استيعاب التكنولوجيات. ويتم تغطية معظم المعلومات ذات الصلة بالمرفق ألف في القسم الثالث من هذه الوثيقة؛ وترد معلومات إضافية عن اعتماد التكنولوجيات في المرفقات من الثاني إلى الخامس.

5/XXX، وبالتالي فإن المسائل المتعلقة بقطاع خدمة التبريد لم يتم تناولها في هذه الوثيقة:

(أ) وثيقة أولية عن جميع الجوانب المتعلقة بقطاع خدمات التبريد التي تدعم التخلص التدريجي من الموادالهيدروفلوروكربونية (المقرر 76/80 (ج)) (الوثيقة UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/64)؛

(ب) وورقة عن طرق تفعيل الفقرة 16 من المقرر 2/XXVIII والفقرة 2 من المقرر 5/XXX للأطراف (المقرر 83/82 (ج)) (الوثيقة UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/40).

11- وقد ترغب اللجنة التنفيذية أيضاً في أن تشير إلى أنه في اجتماعها الرابع والثمانين، ستنظر في ورقة محدثة عن المعلومات المتعلقة بالصناديق والمؤسسات المالية ذات الصلة التي تقوم بتعبئة الموارد من أجل كفاءة استخدام الطاقة التي يمكن استخدامها عند التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية (المقرر 63/83)[9]. وتتناول هذه الورقة دور المؤسسات الأخرى التي تعالج مسألة كفاءة استخدام الطاقة؛ لذلك، لم يتم تضمين هذه المسألة في هذه الوثيقة.

أولاً- ملخص يبرز الجوانب الرئيسية التي يغطيها تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي

12- على مر التاريخ، ركز تنفيذ بروتوكول مونتريال على إزالة المواد المستنفدة للأوزون وأدى بجانب إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة للمعدات والمنتجات.[10] وأثناء الانتقال إلى مواد التبريد البديلة، بذلت الصناعة جهودًا لتحسين تصميم المعدات والمكونات بأسعار معقولة للمستهلكين، وأدى هذا الجهد على مدى فترة من الزمن إلى منتجات موفرة للطاقة وبأسعار منخفضة للمنتجات معدلة حسب التضخم. وتتلقى أنظمة تكييف الهواء اهتمامًا متزايدًا نظرًا لاحتياجات تغيير تكنولوجيا التبريد، وتبذل الجهود لتحسين الأنظمة والمكونات من أجل تحقيق تبريد موفر للطاقة بمواد تبريد جديدة. وتلعب العوامل، بما في ذلك أنظمة تسعير الطاقة والفواتير وتوصيف الطاقة، دورًا مهمًا في اعتماد التكنولوجيا الموفرة للطاقة.

13- تأتي أكبر إمكانات لتحسين كفاءة استخدام الطاقة من التحسينات في إجمالي تصميم النظام ومكوناته، التي يمكن أن تؤدي إلى تحسينات في الكفاءة (مقارنة بتصميم أساسي) يمكن أن تتراوح بين 10 في المائة و 70 في المائة (للحصول على وحدة "الأفضل في فئتها"). ويمكن أن يسهم النهج المتكامل لتصميم واختيار معدات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية الذي يشمل ضمان تقليل أحمال التبريد/ التدفئة واختيار مواد التبريد المناسبة واستخدام وتصميم ومكونات النظام عالية الكفاءة وضمان التحكم والتشغيل الأمثل، في جميع ظروف التشغيل العامة وميزات التصميم التي ستدعم الخدمة والصيانة، يمكن أن يسهم في توفير الطاقة؛ مما سيؤدي إلى انخفاض انبعاثات غازات الدفيئة على مدى عمر المعدات وتخفيض تكاليف الطاقة للمستخدم النهائي وتقليل ذروة الطلب على الكهرباء مما سيؤدي إلى انخفاض الاستثمارات في توليد الطاقة وقدرة التوزيع.

14- اختيار مواد التبريد هو مفاضلة بين الفوائد البيئية والسلامة وكفاءة الدورة الديناميكية الحرارية وتصميم النظام والموثوقية والتكلفة. عادة ما يكون تأثير اختيار مادة التبريد على كفاءة استخدام الطاقة للوحدات صغيرًا نسبيًا - يتراوح عادة من +/- 5 إلى 10 في المائة. تتوفر أجهزة تكييف الهواء والتبريد التجارية التي تلبي الحد الأدنى من متطلبات كفاءة استخدام الطاقة على نطاق واسع لجميع فصائل مواد التبريد بما فيها المواد الهيدروكلوروفلوروكربونية[11]؛ ولا تحدث أي تطورات لتحقيق كفاءة أعلى في استخدام الطاقة في معدات المواد الهيدروكلوروفلوروكربونية بسبب جدول إزالة غاز التبريد هذا. وعندما تقدم الأسواق والسياسات الداعمة إشارات

[9] الوثيقة UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/68

[10] أدى تنفيذ بروتوكول مونتريال إلى تحسن تدريجي في كفاءة استخدام الطاقة؛ وحدث هذا أيضًا قبل اعتماد البروتوكول. علاوة على ذلك، أدى تنفيذ بروتوكول مونتريال في كثير من الحالات إلى تسريع عملية تحسين كفاءة استخدام الطاقة، حيث كان تغيير مادة التبريد غالبًا ما كان حافزًا للانتقال إلى مستوى تكنولوجي أعلى نتيجة لإعادة تصميم المنتج بشكل أفضل.

[11] قد لا يكون هذا هو الحال في حالة وجود بعض التكنولوجيات (مثل مكيف الهواء القائم على المادة R-290).

واضحة لاختيار مادة التبريد البديلة، يستثمر المصنعون في البحث والتطوير لمواد التبريد تلك مع الحفاظ على كفاءة استخدام الطاقة أو تعزيزها. ونتيجة لذلك، تركز جهود البحث والتطوير على كفاءة استخدام الطاقة في مواد التبريد ذوي القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي. ولا تتوفر بعض المكونات لتعزيز كفاءة استخدام الطاقة في أجهزة تكييف الهواء وأجهزة التبريد التجارية ذات مواد التبريد ذوي القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي على نطاق واسع، بينما تتوفر مكونات أجهزة التبريد ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي على نطاق واسع في بعض البلدان الذين يحولون معظم استهلاكهم إلى مواد التبريد هذه.

15- لا تتأثر معظم التكنولوجيات الجديدة المتاحة على نطاق واسع التي تساهم في ارتفاع كفاءة استخدام المعدات للطاقة بشكل مباشر باعتبارات الملكية الفكرية. ومع ذلك، لعدد محدود من الموردين أو التكنولوجيات الناشئة أو تقنيات البحث والتطوير، يجب تحديد اعتبارات الملكية الفكرية لكل حالة على حدة.

16- وفيما يتعلق بالتدخلات الفنية للحفاظ على/ تحسين كفاءة استخدام الطاقة، تفرض البيئة التي توجد فيها درجة الحرارة المحيطة العالية مجموعة إضافية من التحديات على اختيار مواد التبريد وتصميم النظام وفرص تحسين كفاءة استخدام الطاقة المحتملة. في البيئة التي توجد فيها درجة الحرارة المحيطة العالية، تتأثر تصميمات النظام التي تحافظ على كفاءة استخدام الطاقة باختيار مادة التبريد بسبب الخواص الديناميكية الحرارية ومتطلبات السلامة بسبب زيادة الشحن وتوافر المكونات وتكلفتها. وقد أظهرت الأبحاث التي أجريت حتى الآن في ظروف البيئة التي توجد فيها درجة الحرارة المحيطة العالية التي أجريت حتى الآن مدى صلاحية بعض البدائل ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي لتقديم نتائج مماثلة في مجال كفاءة استخدام الطاقة إلى التقنيات الحالية. وتستمر مواصلة البحث وكذلك جهود القطاع الخاص في التركيز على تحسين التصميم لتحقيق كفاءات مستهدفة لتلك البدائل. وترد في التقرير التحديات التقنية والمالية والسوقية والمعلوماتية والمؤسسية/ التنظيمية وكفاءة الخدمات وغيرها من التحديات إلى جانب تدابير التخفيف التي يمكن اتخاذها. يعيد المشروع PRAHA-II الممول من الصندوق المتعدد الأطراف من اختبار الوحدات المحسنة باستخدام الضواغط والمبادلات الحرارية الكفء، الذي أعيد بناؤه من النماذج الأولية الأصلية المستخدمة في المشروع PRAHA-I.

17- لا تعد ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة مشكلة عامة لأجهزة تكييف الهواء التجارية المستقلة التي توضع غالبًا داخل المتاجر والمحلات المكيفة الهواء. ومع ذلك، في بلدان المادة 5، توضع في الهواء الطلق خارج المباني أحيانًا لمنع الحمل الحراري الإضافي داخل المبنى، مما سيؤثر على الأداء بسبب ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة.

18- توجد طرق طورها العديد من البلدان ببرامج تحول السوق ثبتت جدواها لتعزيز كفاءة استخدام الطاقة بما في ذلك برامج معيار الحد الأدنى لأداء الطاقة وبرامج التوصيف. ستقدم "لقطة" من تكلفة برنامج تحسين الكفاءة في أي وقت معين تقديرا متحفظا (أي أعلى) لتكلفة تحسين الكفاءة. وفي الممارسة الفعلية، وجد أن أسعار المعدات ذات الكفاءة العالية آخذة في الانخفاض مع مرور الوقت في الكثير من الأسواق حيث بدأ إنتاج معدات ذات كفاءة أعلى على نطاق واسع. وينطبق هذا بشكل خاص على المعدات الصغيرة التي يتم إنتاجها بكميات كبيرة حيث يمتص الصانعون بسرعة تكاليف التطوير الأولية ويحاولون الوصول إلى "نقاط سعر" معينة تساعدهم على بيع معداتهم.

19- لا يمثل سعر التجزئة للمنتجات مؤشراً ملائماً لتكاليف صيانة أو تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المعدات الجديدة بسبب تجميع مختلف الميزات غير المتعلقة بالطاقة مع معدات ذات كفاءة أعلى وتباين في مهارات الشركة المصنعة ودرايتها وتباين في أسعار الشركة المصنعة واستراتيجيات التسويق والعلامات التجارية وفكرة أنه يمكن تسويق الكفاءة كميزة "استثنائية". وتبين المعلومات المتعلقة بتحليل التكاليف وفترة الاسترداد أن مجموعة متنوعة من العوامل تؤثر على الاسترداد للمعدات التي يمكن أن يكون لها تكاليف أولية أعلى ويوجد سقف لكفاءة استخدام الطاقة حيث لم يعد الاسترداد من توفير الطاقة على مدى عمر المعدات أمراً جذابًا. وقد توجد حاجة إلى إجراء تحليل دقيق للتكاليف من أجل الفهم التام لتأثير تحسينات كفاءة استخدام الطاقة. وتكون هذه الأنواع من التحليلات مناسبة عند تحديد معيار الحد الأدنى لأداء الطاقة لأن العديد من مستويات كفاءة استخدام الطاقة تحتاج إلى تقييم مقارنةً بخط الأساس. ويمكن أن تستغرق هذه الدراسات أكثر من عام لاستنتاج فئة منتج واحدة.

20- معلومات عن التكاليف الرأسمالية والتشغيلية المرتبطة بالانتقال إلى خيارات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي في معدات التبريد التجارية المستقلة ووحدات التكثيف والنظام المركزي والموزع وأجهزة تكييف الهواء والمضخات الحرارية بالإضافة إلى مصفوفة التدخلات التقنية لتحقيق كفاءة أعلى في استخدام الطاقة والتكاليف، وتبين تقديرات التكلفة المصاحبة وجود مجموعة من العوامل تؤثر على التكاليف الإجمالية للانتقال إلى مواد تبريد بديلة تتمتع بقدرة منخفضة على إحداث الاحترار العالمي وتحسين كفاءة استخدام الطاقة. وتلعب ممارسات التشغيل دورًا مهمًا في أداء المعدات بكفاءة في استخدام الطاقة.

21- تمثل تكلفة مواد التبريد حوالي 1 في المائة من التكلفة الإجمالية لمعدات التبريد وتكييف الهواء. ومن المتوقع أن ترتفع تكاليف المواد الهيدروفلوروكربونية مع تقدم التخلص التدريجي، مما يزيد من القدرة التنافسية لمواد التبريد ذوي القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي من حيث التكلفة. وتمثل الضواغط حوالي 20 في المائة من تكلفة معدات التبريد وتكييف الهواء. ويمكن تحسين الكفاءة بنسبة تصل إلى 20 في المائة عن طريق التقدم التقني، ولكن تزداد التكلفة بالتناسب. وحسنت المبادلات الحرارية من النوع "الزعنفة والأنبوب" كفاءتها من خلال إدخال أنابيب ذات قطر صغير؛ وفي الآونة الأخيرة، تسارع التحول إلى المبادلات الحرارية ذات القنوات الصغيرة ذات التكلفة المماثلة أو الأقل قليلا (حوالي 5 في المائة)، وكفاءة أعلى تصل إلى 5 في المائة، وتخفيض شحنات مواد التبريد بحوالي 40 في المائة. ويحسن تحسين تدفق الهواء كفاءة استخدام الطاقة. وتزداد قوة وتكلفة المراوح بطريقة تدريجية، مما يؤدي إلى وجود علاقة معقدة بين التكلفة المتزايدة وكفاءة استخدام الطاقة. وتكاليف التكنولوجيات الأخرى، بما في ذلك التنظيف الذاتي للحد من ترسب الغبار، هي تكاليف هامشية. ومع انخفاض تكلفة المكونات والتصميمات الفعالة بمرور الوقت بسبب الزيادات في حجم الإنتاج أو التعلم، تنخفض تكلفة المعدات ذات الكفاءة العالية. وعند حدوث ذلك، تجدي مستويات الكفاءة الأعلى على فترات زمنية أقصر.

22- توجد أيضًا مجموعة كبيرة من الفوائد المشتركة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة بالإضافة إلى انخفاض تكاليف الطاقة للمستهلك وتجنب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتجنب حمل الذروة مثل تجنب الوفيات والمراضة بسبب فقر الطاقة ومنافع الراحة وتجنب أكسيد الكبريت وانبعاثات أكاسيد النيتروجين والجسيمات وتجنب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى الفوائد الاقتصادية المباشرة. وقد تختلف تأثيرات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في بيئات التشغيل والظروف الجوية المختلفة.

23- سيمكن اعتماد معايير مشتركة لطرق الاختبار والتأهيل بين الأسواق الشركات المصنعة من الاستفادة على نطاق واسع وتسريع الاستعداد التكنولوجي. وقد تضر الحكومات التي تضع شروط الاختبار والأداء غير القابلة للمقارنة مع شركائها التجاريين الرئيسيين أو مورديها هذا البلد اقتصاديًا عن طريق تأخير اعتماد تكنولوجيات جديدة موفرة للطاقة في ذلك البلد.

24- المعلومات التفصيلية عن التكاليف المرتبطة برصد تحسين كفاءة استخدام الطاقة والإبلاغ عنها غير متوفرة في التقرير، لم تقدم أي معلومات في هذه الوثيقة.

25- وأخيراً، تقدم الوثيقة معلومات متاحة حتى الآن، بشأن المشروعات الإيضاحية لإدخال تكنولوجيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي أثناء التخلص التدريجي من المواد الهيدروكلوروفلوروكربونية. علاوة على ذلك، نظرًا لعدم توفر نتائج المشروعات الاستثمارية المستقلة للتخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية المعتمدة وفقا للمقرر 3/78 (ز)، يتم تقديم قائمة بهذه المشروعات.

ثانيا- مقدمة لكفاءة استخدام الطاقة في سياق التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية واعتماد تقنيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي

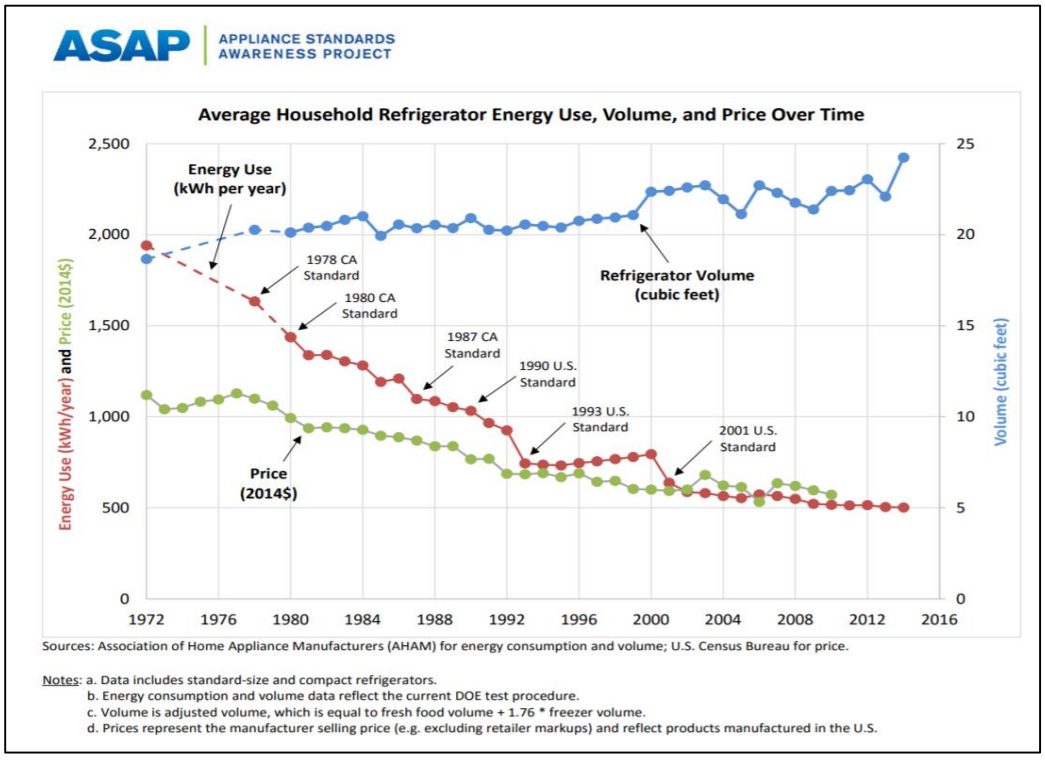
26- على مر الزمن، ركز تنفيذ بروتوكول مونتريال على إزالة المواد المستنفدة للأوزون مما أدى إلى كفاءة استخدام الطاقة في المعدات والمنتجات أيضا.[12] وقدم الصندوق المتعدد الأطراف مساعدة مالية وتقنية لدعم أطراف

[12] تم شرح السياق في حاشية الفقرة 10 بالوثيقة

المادة 5 في تحقيق أهدافهم المتعلقة بإزالة المواد المستنفدة للأوزون.

27- أثناء التخلص التدريجي من المواد الهيدروفلوروكربونية في قطاع التبريد المنزلي، تم التخلص التدريجي من الكلوفلوروكربون-12 إما باستخدام المادة R-600a أو الهيدروفلوروكربون- 134a. في البداية تم استخدام خلطات من الهيدروكربون ولكن أدى هذا إلى زيادة تكاليف الطاقة. وأصبحت المادة R-600a، ذات كفاءة أفضل في استخدام الطاقة، هي الخيار المفضل غير الهيدروفلوروكربون- 134a. واقتصر استخدام الهيدروفلوروكربون- 134a ذو كفاءة مماثلة في استخدام الطاقة ولكنه ذو قدرة أعلى على إحداث الاحترار العالمي، على المناطق التي تمثل فيها الشواغل الكبيرة بشأن القابلية للاشتعال والعوائق ذات الصلة عقبات كبيرة في السوق.

28- بذلت الصناعة جهودًا كبيرة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة عند التحول من الكلوفلوروكربون-12، من خلال تحسين تصميم الضاغط والنظام. وتحتوي الثلاجة العالمية لأفضل الممارسات في عام 2015 على انبعاثات غازات الدفيئة التي تقل بتسعة أضعاف عن ثلاجة الثمانينات النموذجية التي بيعت في بلدان غير بلدان المادة 5. ويتمتع سوق الثلاجة المنزلية بقدرة تنافسية عالية من حيث التكلفة ويستفيد من وفورات الحجم الهائلة من خلال الإنتاج الضخم. وتكلفة ثلاجة عام 2015 عالية الكفاءة أقل من حيث القيمة الحقيقية من نموذج الثمانينات (الشكل 1[13])



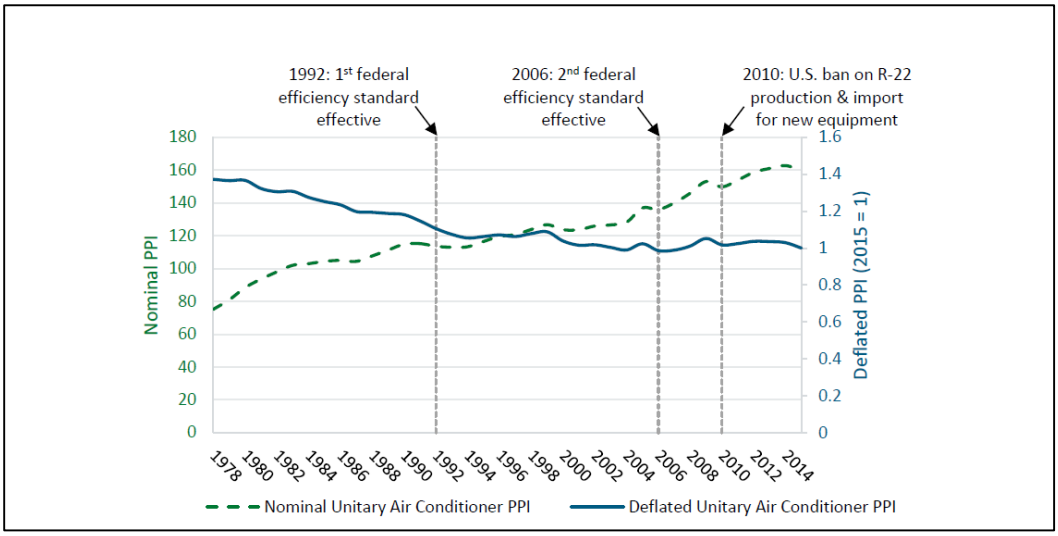
الشكل 1- متوسط استخدام الثلاجة المنزلية للطاقة وحجمها وسعرها في الولايات المتحدة الأمريكية

29- بين تطور أجهزة تكييف الهواء الأحادية بالولايات المتحدة منذ السبعينيات تحسنا مطردا في الكفاءة وفي الوقت نفسه حقق فعالية من حيث التكلفة على النحو المبين في الشكل 2. وخفضت الشركات المصنعة في الولايات المتحدة سعر أجهزة تكييف الهواء الأحادية المعدل حسب التضخم لأنظمة تكييف الهواء السكنية ذات الأنابيب المركزية (تكاليف الأجهزة فقط)[14]. وكان اتجاه انخفاض الأسعار متزامنًا مع إزالة المواد المستنفدة للأوزون، وكذلك زيادة معايير الكفاءة دوريا. وأسباب هذا الاتجاه معقدة، تشمل الابتكارات التكنولوجية وكفاءة التصنيع، وكذلك عوامل

[13] الموقع الإلكتروني: https://appliance-standards.org/sites/default/files/refrigerator_graph_Nov_2016.pdf

[14] يصور الخط الأخضر المنقط مؤشر أسعار المنتجين في حين يصور الخط الأزرق مؤشر أسعار المنتجين المعدل حسب التضخم. ويتم احتساب تسوية التضخم بقسمة سلسلة مؤشر أسعار المنتجين على مؤشر سعر المنتج المحلي الكلي التسلسلي لنفس السنوات وتطبيعها إلى عام 2015.

الاقتصاد الكلي المتعلقة بعولمة اتجاهات التصنيع وأسعار السلع الأساسية. ولم يرتفع سعر الجهاز المعدل بعد إدخال معايير الكفاءة أو زيادة المعايير. ولم تتفاعل الأسعار عكسياً مع حظر الهيدروكلوروفلوروكربون-22 في عام 2010.



الشكل 2- تكاليف معدات تكييف الهواء المركزية السكنية من عام 1978 حتي عام 2015 [غوتزلر وآخرون 2016]

30- مازالت إزالة الهيدروكلوروفلوروكربون- 22 مستمرة في بلدان المادة 5[15]. وتم استعمال الهيدروفلوروكربون- 32 في العديد من البلدان. في حين تم استعمال المادة R-290 في عدد قليل من البلدان، وتتميز بكفاءة استخدام الطاقة، ومع ذلك، فإن أحد العوائق الرئيسية لاستخدام المادة R-290 في مكيفات هواء الغرف هو معدل القابلية للاشتعال الذي يقيد استخدامها.

31- يعرض المرفق الثاني بهذه الوثيقة مدى توفر التكنولوجيات المختلفة مع نطاقات المعايير الدنيا لأداء الطاقة من مختلف البلدان / المناطق. وللحصول على المعلومات الواردة في الجداول الواردة في المرفق الثاني، يوصي بالنظر في الثلاث مستويات من المعايير الدنيا لأداء الطاقة على النحو المحدد أدناه؛ ولكل فئة من فئات مواد التبريد، يعرض التوافر حسب وسع النطاق (بالخط الغامق)، والتكنولوجيا المتاحة (بالخط العادي)، والتكنولوجيا الناشئة (بالخط المائل) وغير المتوفرة (بالخط العادي مع وضع خط تحته):

(أ) المستوى المنخفض: وحدات تكييف الهواء التي تستوفي المعايير الدنيا لأداء الطاقة المطلوبة من الإقليم أو البلد؛

(ب) والمستوى المتوسط: وحدات تكييف الهواء التي تزيد فعاليتها بنسبة 10٪ عن وحدات المعايير الدنيا لأداء الطاقة الأساسية؛

(ج) والمستوى العالي: وحدات تكييف الهواء التي لا تقل عن 10 ٪ أو أعلى من المعايير الدنيا لأداء الطاقة الأساسية.

32- في البلدان التي تتوفر فيهم المعايير الدنيا لأداء الطاقة، تكون المواد الهيدروكلوروفلوروكربونية بشكل أساسي في أدنى مستويات الكفاءة بما يكفي لاستيفاء المعايير الدنيا لأداء الطاقة، مع وجود استثناءات قليلة. وتتوفر المواد الهيدروفلوروكربونية ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي، أي المادة R-410A، في كل مكان بالمستوى المنخفض.

[15] إزلة الهيدروكلوروفلوروكربون- 22 أكبر في تطبيقات تكييف الهواء، كليهما التصنيع والخدمة.

33- في الوقت الحالي، يتم بيع مجموعة كبيرة من أجهزة تكييف هواء الغرف، التي تتراوح فيها معدلات كفاءة استخدام الطاقة من منخفضة جدًا إلى مرتفعة جدًا. ويرتبط مستوى كفاءة استخدام الطاقة قليلا بالسعة، أو سعر الشراء [شاه ، 2017، كويجبرس وآخرون، 2018]. ويتطلب تحسين أداء أجهزة تكييف هواء الغرف الاهتمام بالضاغط وشحن مادة التبريد وحجم المبادل الحراري. وأظهرت الدراسات التي أجريت على المادة R-290 والهيدروفلوروكربون- 32 والهيدروفلوروكربون-161 مقارنة بنظام الهيدروكلوروفلوروكربون- 22، أن نسبة كفاءة استخدام الطاقة لأجهزة تكييف هواء الغرف المحسّنة كانت في حدود 10 في المائة، بغض النظر عن مادة التبريد، بينما دون التحسين الكامل للنظام، تجاوزت الاختلافات في نسبة كفاءة استخدام الطاقة 10 في المائة.

34- في بعض البلدان، تستهلك أجهزة تكييف الهواء ما يصل إلى 70 في المائة من الطاقة الكهربائية المولدة بسبب الاستخدام المفرط للتبريد على مدار السنة تقريبًا ولمدة طويلة. ويدرك الجمهور العبء الذي يضيفه تكييف الهواء إلى وضعهم المالي، لذلك قد يكون أكثر استعدادًا للترحيب بالتدابير التنظيمية وغيرها لتخفيف هذا العبء من خلال استخدام أنظمة أكثر كفاءة تستهلك طاقة أقل. ليست هذه هي الحالة التي يتم فيها دعم المرافق، بحيث تكون تكلفة الطاقة للمستهلك منخفضة، مما يزيل أي عوائق لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في الأجهزة بما في ذلك الأجهزة التي سيتم تركيبها.

35- ويتمثل تحد آخر في نظام الفواتير الذي تستخدمه المرافق لعملائها السكنيين والتجاريين والصناعيين. يستخدم بعض البلدان معدل فوترة واحدًا على مدار ساعات اليوم، ولكنها تزيد السعر وفقًا لقوس الاستهلاك. ورغم أن أن هذا المخطط يمكن أن يعمل بشكل جيد للعملاء السكنيين، إلا أنه يعاقب العملاء التجاريين / الصناعيين الكبار الذين يشغلون مصانع أكبر وأكثر كفاءة مثل تبريد المناطق ما لم تؤخذ هذه المصانع في الاعتبار.

36- توصيف الطاقة للوحدات وبرامج الطاقة هو خطوة في الاتجاه الصحيح. معظم البلدان لديهم خطط لتوصيف الطاقة لأجهزة تكييف الهواء المنزلية ووحدات التبريد. ويتمثل أحد تحديات توصيف الطاقة وتحقيق معايير الطاقة بشكل عام في عملية الاختبار والتحقق للتأكد من صحة المستويات المذكورة وإتمام التحقق منها. وتمت مناقشة المزيد من المعلومات المتعلقة بتوصيف الطاقة وسياسات معايير الطاقة في القسم 4 من تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي؛ نظرًا لأن هذا لا يندرج مباشرة في نطاق هذا القرار، لم يتم تضمين المعلومات المتعلقة بسياسة كفاءة استخدام الطاقة والتوصيف في هذه الوثيقة.

ثالثا- التدخلات الفنية المرتبطة ببقاء و/ أو تحسين كفاءة استخدام الطاقة

37- من أجل توفير التبريد أو التدفئة، تستهلك معدات وأنظمة التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية طاقة، هي في معظم الحالات، الكهرباء. وترتبط كمية الطاقة التي تستهلكها الوحدة بكمية حمولة التبريد/ التدفئة التي يجب توفيرها (كمية خدمة التبريد أو التدفئة) وبالطاقة اللازمة لتقديم هذه الخدمة. ستوفر وحدة أو نظام يتمتع بكفاءة أكثر في استخدام الطاقة نفس مقدار الخدمة لمستوى أقل من الطاقة المستهلكة.[16]

38- تعالج التحسينات في كفاءة استخدام المعدات للطاقة بشكل أفضل في وقت تصميم المعدات الجديدة وتصنيعها. ويمكن أن يدمج للمصمم ميزات توفير الطاقة المناسبة التي ستوفر فوائد متعددة تشمل:-

(أ) خفض انبعاثات غازات الدفيئة المرتبطة بالطاقة طوال عمر المعدات؛

(ب) وخفض تكاليف الطاقة، مما يوفر فوائد مالية جيدة للمستخدم النهائي؛

(ج) وخفض الطلب على الكهرباء إلى أقصى حد، مما يوفر فوائد مالية محتملة عن طريق تقليل الحاجة إلى توليد الكهرباء وقدرة التوزيع، وهو ما يتحول إلى انخفاض الاستثمار والوقود وتكاليف تشغيل مولدات الكهرباء.

[16] تعرف الوكالة الدولية للطاقة كفاءة استخدام الطاقة بأنها "طريقة إدارة وتقييد النمو في استهلاك الطاقة. يكون الشيء أكثر كفاءة في استخدام الطاقة إذا كان يوفر المزيد من الخدمات بنفس مدخلات الطاقة، أو نفس الخدمات بمدخلات طاقة أقل.

39- يمكن تعظيم فرص تحسين كفاءة استخدام الطاقة باستخدام نهج متكامل صارم لتصميم واختيار أجهزة التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية. يشمل هذا النهج:

(أ) ضمان التقليل إلى أدنى حد من أحمال التبريد/ التدفئة؛[17]

(ب) واختيار مادة التبريد المناسبة؛

(ج) واستخدام مكونات وتصميم الأجهزة بكفاءة عالية؛

(د) وضمان التحكم والتشغيل الأمثل، في جميع ظروف التشغيل العامة؛

(هـ) وتصميم الميزات التي تدعم الخدمة والصيانة.

40- وتتم مناقشة كل متطلب من هذه المتطلبات الخمسة في الفقرات التالية.

ضمان التقليل من أحمال التبريد / التدفئة

41- تستطيع إزالة أو تقليل الأحمال أن تقلل من استهلاك الطاقة بدرجة كبيرة مع الاستمرار في توفير المستوى المطلوب من قدرة التدفئة أو التبريد. وتشمل بعض أمثلة إجراءات تقليل الأحمال:

(أ) ميزات تصميم المباني التي تقلل من اكتساب حرارة الصيف (مثل، التظليل ومواد السقف العاكسة وموقع النوافذ والعزل)؛

(ب) ووضع أبواب على خزانات العرض المبردة للبيع بالتجزئة؛

(ج) والتبريد المسبق للمنتجات الساخنة قبل وضعها في الثلاجات (مثل، في مصنع للأغذية يستخدم مياه برج التبريد لتبريد منتج مطبوخ مسبقًا)؛

(د) وتقليل الحرارة الناتجة عن المواد المساعدة الكهربائية مثل مراوح المبخر أو مضخات المياه المبردة أو الإضاءة؛

(هـ) وتقليل الحمل الحراري للتخزين البارد مع تحسين العزل ومنع دخول الهواء الدافئ من الأبواب المفتوحة.[18]

42- قد يتطلب تخفيض الأحمال استثمارات إضافية، مثل، عزل إضافي أو اتجاه تظليل المبنى أو إضافة باب إلى حاوية العرض. ومع ذلك، قد يؤدي انخفاض حمل التبريد إلى بعض وفورات التكاليف الرأسمالية بسبب، على سبيل المثال، أنظمة التبريد ذات الحجم الأصغر وانخفاض معدل التوصيل الكهربائي.[19]

اختيار مادة *التبريد المناسب*

43- اختيار مادة التبريد عبارة عن مفاضلة بين الفوائد البيئية والسلامة وكفاءة دورة الديناميكية الحرارية وتصميم النظام والموثوقية والتكلفة. عادة ما يكون تأثير اختيار مادة التبريد على كفاءة استخدام الوحدات للطاقة صغيرًا نسبيًا، حيث يتراوح من +/- 5 إلى 10 في المائة. ويجب أن يختار المصممون أفضل مادة تبريد من منظور الكفاءة ولكن يجب عليهم أيضًا حل مجموعة كبيرة من مشكلات التصميم الأخرى. ومن المهم أيضًا ملاحظة أن التقنيات التي تؤدي

[17] يمكن أن يرتبط ذلك ارتباطًا مباشرًا بتصميم أكثر كفاءة في استخدام الطاقة للمعدات واختيارها، ولكن يجب أخذها في الاعتبار في نهج متكامل نظرًا لأهميتها في تقليل استهلاك الطاقة بشكل عام.

[18] التحجيم المنخفض. على سبيل المثال، يجب عدم اختيار ثلاجة منزلية أكبر من اللازم أو يجب عدم اختيار ثلاجة عرض أكبر من اللازم.

[19] غالبًا ما يكون تخفيض التكلفة بسبب انخفاض حمل التبريد.

إلى فرص تحسين كفاءة استخدام الطاقة المتاحة لغازات التبريد ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي قد تنطبق أيضًا على لغازات التبريد ذات القدرة المنخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي.[20]

44- يوضح التحليل الديناميكي الحراري المبسط التأثير النسبي لمواد التبريد المختلفة على كفاءة الوحدة في استخدام الطاقة، الذي يمكن أن يساعد المصممين على إنشاء "قائمة مختصرة" للخيارات. ولتطبيق معين، سيوجد عدد محدود من مواد التبريد التي من المحتمل أن تكون في حدود ± 5 في المائة من مادة مواد (مواد) التبريد الأساسية من حيث أداء الطاقة. ويوفر التحليل الديناميكي الحراري نقطة بداية مفيدة ولكن من الضروري مراعاة الأداء "الواقعي"، الذي يعتمد على الطريقة التي تتفاعل بها مادة التبريد مع مكونات النظام المختلفة، وخاصة الضاغط والمبادلات الحرارية. ويمكن توضيح ذلك بمقارنة الهيدروكلوروفلوروكربون-22 والمادة R-410A للاستخدام في اجهزة تكييف هواء الغرف الصغيرة. ويبين التحليل الديناميكي الحراري مزايا كفاءة الهيدروكلوروفلوروكربون-22، ولكن تستخدم المعدات الأكثر كفاءة المتاحة حاليًا في السوق المادة R-410A. ويعكس هذا حقيقة أن مصنعي المعدات قد توقفوا عن البحث والتطوير لتحسين المعدات القائمة على الهيدروكلوروفلوروكربون-22 بعد بدء إزالة المواد الهيدروكلوروفلوروكربونية بموجب بروتوكول مونتريال. وتحتوي المعدات الحديثة القائمة على المادة R 410A على عدد من ابتكارات الكفاءة غير المتوفرة مع الهيدروكلوروفلوروكربون-22، مما يجعل كفاءة المادة R-410A أعلى. ويوضح التحليل الديناميكي الحراري للهيدروفلوروكربون-32 أنه يتمتع بميزة اعلى بحوالي 5 في المائة من المادة R-410A لأجهزة تكييف الهواء للمباني الصغيرة.

45- وبالمقارنة مع الهيدروكلوروفلوروكربون-22، يبين تحليل دورة الديناميكية الحرارية للبروبان (R-290) فقدان معامل الأداء يتراوح بين - 2 في المائة إلى صفر في المائة حسب درجة حرارة التبخر. ومع ذلك، فإن السعة الحجمية للبروبان (R-290) أقل باستمرار من الهيدروكلوروفلوروكربون-22 بنحو 14 في المائة تقريبا. وأظهر اختبار الانخفاض للبروبان (R-290) في المعدات القائمة على الهيدروكلوروفلوروكربون-22 أن تحسن معامل الأداء تحسن نسبته 7 في المائة وتخفيض السعة نسبته 8 في المائة مقارنةً بالهيدروكلوروفلوروكربون-22 في ظروف التصنيف القياسية. ويعزى ذلك في المقام الأول إلى خصائص النقل المحسّنة للبروبان (R-290) مقابل الهيدروكلوروفلوروكربون-22. وبالتحسين الهندسي، تستطيع بدائل الهيدروكلوروفلوروكربون-22 مثل البروبان (R-290) أن تطابق أو تتجاوز أداء وحدات الهيدروكلوروفلوروكربون-22 الحالية مع زيادة في الكفاءة تصل إلى 10 في المائة.

46- أسفر برنامج تقييم مواد التبريد البديلة (AHRI AREP)[21] عن 67 تقريراً عن تقييم مواد التبريد البديلة ودراسة واحدة عن تقييم المخاطر المرتبطة باستخدام مواد التبريد A2L. وامتد أداء مواد التبريد البديلة إلى حدٍ بعيد بناءً على نوع الدراسة (الانخفاض أو التحسن البسيط)، والجهاز ومادة التبريد الأساسية. إجمالاً، تبين بدائل الهيدروكلوروفلوروكربون-22 أن لها نتائج مماثلة في أداء القدرة في حدود ± 10 في المائة ولكن الكفاءة تتراوح بين - 20 في المائة إلى - 5 في المائة مقارنة بخط الأساس للهيدروكلوروفلوروكربون-22. وأظهرت بدائل المادة R-410A قدرة وكفاءة تتراوح بين ± 15 في المائة وأظهرت بدائل المادة R-404A قدرة تتراوح بين - 20 في المائة إلى - 5 في المائة وتحسن الكفاءة يصل إلى 10 في المائة.

47- ركزت دراسات وزارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية على مكيفات الهواء المنفصلة ومكيفات الهواء المركبة ومددت التقييم إلى 55 درجة مئوية في الظروف المحيطة. وأظهرت الدراسة أن بدائل الهيدروكلوروفلوروكربون-22 المفلورة أدت إلى خسارة في القدرة بنسبة 3 في المائة إلى 14 في المائة وفقدان للكفاءة بنسبة 11 في المائة إلى 16 في المائة في حالة تصنيف تبلغ 35 درجة مئوية وفقدان القدرة بنسبة 3 في المائة إلى 14 في المائة وفقدان الكفاءة بنسبة 7 في المائة إلى 15 في المائة عند 55 درجة مئوية. ومع ذلك، أدى البروبان (R-290) إلى فقدان القدرة بنسبة 7 في المائة وتحسين الكفاءة بنسبة 11 في المائة عند درجة حرارة 35 درجة مئوية وفقدان القدرة بنسبة 10 في المائة وتحسين الكفاءة بنسبة 8 في المائة عند 55 درجة مئوية. وأظهرت بدائل المادة R-

[20] التكنولوجيات التي تسبب تحسينات كفاءة استخدام الطاقة قابلة للتطبيق بشكل عام أيضًا على مواد التبريد ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي

[21] برنامج تقييم مواد التبريد البديلة.

410A اختلافًا في القدرة يتراوح بين - 14 في المائة إلى 5 في المائة عند 35 درجة مئوية ومن - 3 في المائة إلى 13 في المائة عند 55 درجة مئوية، ويتراوح فرق الكفاءة بين ± 5 في المائة عند 35 درجة مئوية وما يصل إلى 6 في المائة عند 55 درجة مئوية.

48- ركزت الدراسات البحثية حتى الآن على أداء مواد التبريد البديلة ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي مقارنةً بتقنيات المواد المستنفدة للأوزون والهيدروفلوروكربون ذو القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي المستخدمة حاليًا. واستخدمت الدراسات المنتجات المتاحة مع "التحسين البسيط" لأجهزة الشحن والتوسعة. علاوة على ذلك، هناك حاجة إلى إجراء بحث لدراسة تأثير التحسين الكامل لمنتجات جديدة باستخدام بدائل ذات قدرة منخفضة على إحداث الاحترار العالمي مع إدخال تغييرات على الضواغط والمبادلات الحرارية ومكونات أخرى.

49- في حالة أجهزة تكييف الهواء، واجهت مواد التبريد من الفئتين القابلتين للاشتعال A2L و A3 بعض التحديات ويجب أن تدرجهم البلدان في لوائحهم المحلية[22]. ويمكن الحصول على الهيدروفلوروكربون-32 والمادة R-290 من العديد من الموردين في جميع أنحاء العالم. وكان الطلب على المادة R-290 مستقراً إلى حد ما ويغطيه الإنتاج الحالي. وينطبق الشيء نفسه على الهيدروفلوروكربون-32 على الرغم من وجود زيادة في الطلب مؤخرًا. ومع ذلك، مازال الطلب على كلتا المادتين صغيرًا مقارنة بالمادة R-410A.

50- كانت غازات التبريد المستخدمة في التبريد التجاري مقتصرة على الهيدروكلوروفلوروكربون-22 والمادتين R-404A والهيدروفلوروكربون--HFC. ويتغير هذا مع إدخال والوحدات القائمة على ثاني أكسيد الكربون والهيدروكربونات (R-600a أو R-290) وخليط الهيدروفلوروأوليفينات (على أساس الهيدروفلوروأوليفين-1234yf) في العديد من البلدان[23].

استخدام مكونات وتصميم النظام عالي الكفاءة، وضمان التحكم والتشغيل الأمثل

51- تتكون معدات ضغط البخار في أجهزة التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية من عدد من المكونات الأولية (مثل، المبخر والمكثف والضاغط وصمام التمدد ومادة التبريد) والمكونات الثانوية (مثل، المراوح والمضخات وأبراج التبريد). ومن أجل تحقيق أقصى قدر من كفاءة استخدام الطاقة، من المهم: اختيار "تصميم النظام" المناسب الذي يحدد الترتيب العام للنظام ومستويات درجة حرارة التشغيل؛ واختيار المكونات الفردية التي يمكن أن تسهم في كفاءة النظام. ويمكن التعامل مع عناصر التحكم كعنصر آخر في نظام التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية، لكن من المفيد للمصمم أن يعتبر التحكم في النظام وتشغيله مسألة منفصلة. وفيما يتعلق بالتكاليف، كقاعدة عامة، يمكن القول بأن تقنيات التحكم الفعالة تقدم استراتيجية فعالة من حيث التكلفة.

52- صممت المعدات لتحقيق نقطة تصميم رمزية، التي تمثل ذروة حمل التبريد خلال أكثر الظروف المحيطة المتوقعة سخونة.[24] ويمكن اعتبار نقطة التصميم هذه بمثابة "أسوأ حالة" حمل. وفي الواقع، تقضي معظم الأنظمة ساعات قليلة جدًا في السنة بالقرب من نقطة التصميم هذه. ومعظم الوقت، يكون حمل التبريد أقل عندما يكون الطقس أكثر برودة. وفي نظام محكم جيدًا، يجب تحسين كفاءة استخدام الطاقة بشروط بعيدة عن نقطة التصميم. على سبيل المثال، في الطقس البارد، يجب أن تنخفض درجة حرارة التكثيف، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة محتملة في الكفاءة؛ وفي نظام سيء التحكم، لا تحدث هذه التحسينات، وقد تتدهور الكفاءة أكثر لأن الضواغط تعمل سعة حمل جزئية.

53- وفيما يلي أمثلة يمكن أن توضح تحسينات كفاءة استخدام الطاقة المتعلقة بتصميم النظم والمكونات والضوابط المحسنة:

---

[22] الفئة A2L هي مواد تبريد ذات قابلية اشتعال منخفضة (مثل الهيدروفلوروكربون-32)؛ والفئة A3 هي مواد تبريد ذات قابلية اشتعال عالية، مثل الهيدروكربونات (مثل، الهيدروكربون-290 والهيدروكبرون-600a)؛ ومواد التبريد من الفئة A2 هي تلك التي تتمتع بقابلية للاشتعال بين الفئتين A2L و A3، لكن توفرها لم يعد كبيرًا.

[23] أبلغ عن استخدام مواد التبريد القائمة على الهيدروفلوروكربون بكميات صغيرة جدا في التبريد التجاري

[24] تم تصميم المعدات أيضًا حول نقطة تصميم رمزية تشمل نقطة تشغيل بأقصى قدر من الكفاءة.

(أ) التبريد عند مستوى درجة حرارة مناسب: لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة، ينبغي أن توفر أنظمة التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية التبريد عند أقصى مستوى درجة حرارة ممكن. ويمكن أن يؤدي رفع درجة حرارة التبخر بمقدار 1 درجة مئوية فقط إلى تحسين الكفاءة بنسبة تتراوح بين 2 في المائة و 4 في المائة. والتصميم العام هو تجميع العديد من أحمال التبريد في نظام تبريد واحد، رغم اختلاف متطلبات درجة الحرارة لكل حمل. ويجب أن تتناسب درجة حرارة التبخر مع أبرد حمولة - مما يعني أن الأحمال الأكثر دفئًا يتم تبريدها بشكل غير فعال. ويمكن أن يكون تصميم النظام الذي يفصل الأحمال عند درجات حرارة مختلفة أكثر فاعلية للغاية، لكن هذا يأتي بتكلفة إضافية لأنظمة متعددة. ومثال آخر هو اختيار درجة حرارة الماء البارد داخل نظام تبريد الفضاء - باستخدام درجة حرارة أعلى يوفر كفاءة أفضل لنفس حمولة التبريد؛[25]

(ب) الضاغط: يدرس مصممو النظم عدد الضواغط الأمثل لكي يناسب الحمل المحدد. للأنظمة الصغيرة جدًا، يوجد ضاغط واحد دائمًا. ولكن للأنظمة الأكبر، قد يكون من الأفضل اختيار العديد من الضواغط الصغيرة بدلاً من ضاغط واحد كبير، مع إجراء مفاضلة بين التكلفة الرأسمالية الإضافية ووفورات الطاقة الناتجة. وهذا مهم بشكل خاص لدعم الكفاءة العالية في ظل ظروف التشغيل الجزئية. ويحتاج الضاغط إلى التحسين من أجل مادة التبريد المختارة والمدى ظروف التشغيل المتوقع (من حيث درجات حرارة التبخر والتكثيف). وقد يوجد اختلاف بنسبة 20 في المائة في الكفاءة بين ضاغطين من نفس الحجم والتكلفة. ويمكن أن يوفر الاختيار الجيد تحسينًا جيدًا للكفاءة بأقل تكلفة أو بدون تكلفة إضافية. وعندما تنخفض حمولة التبريد، على سبيل المثال، بسبب التغير في الظروف المحيطة، يحتاج الضاغط إلى التشغيل عند تحميل جزئي لأن الحمل أقل من نقطة التصميم الرمزية للنظام. وفي الأنظمة الصغيرة، يتم ذلك عن طريق التحكم في التشغيل والإيقاف وفي الأنظمة الكبيرة بموضع ضبط تحميل الضاغط، مثل تفريغ الأسطوانات للضاغطات الترددية أو الصمامات الانزلاقية للضواغط اللولبية. هذه طرق غير فعالة للغاية لتوفير التحكم في الحمل الجزئي. وتتيح التطورات الحديثة في محركات الأقراص ذات السرعة المتغيرة (محركات أقراص متغيرة السرعة (مثل العاكس) استخدام ضواغط متغيرة السرعة، التي يمكن أن تحسن الكفاءة بنسبة 25 في المائة في الغالب؛

(ج) اختيار المبادل الحراري: يجب أن يختار المصمم مبادلات حرارية بأدنى اختلاف عملي في درجات الحرارة لتحسين درجة حرارة التبخر (التي يجب أن تكون مرتفعة قدر الإمكان) ودرجة حرارة التكثيف (التي يجب أن تكون منخفضة قدر الإمكان).[26] وتم استعمال مبادلات حرارية بتصميم أنبوب وزعنفة مع أنابيب قطرها أصغر. والهدف من ذلك هو تحسين معدل توصيل الحرارة وكفاءة استخدام الطاقة، رغم أنه يجب أن يأخذ المصمم في الاعتبار تأثير انخفاضات الضغط العالي. وهذا يمكن أن يقلل من الحجم الداخلي للمبادل الحراري، مما يمكن من تقليل كمية غاز التبريد اللازمة. كما تم تطوير المبادلات الحرارية ذات القنوات الصغيرة وتوفير خيار تصميم آخر؛

(د) التحكم في ضغط المكثف: يوجد في العديد من أنظمة التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية "تحكم في ضغط الرأس" الذي يمنع ضغط المكثف من التعويم إلى الأسفل في الطقس البارد. ويمكن إلغاء استخدام هذه الضوابط أو تقليلها إلى أقصى حد من خلالها من خلال التصميم المحسّن. على سبيل المثال، باستخدام صمام التمدد الإلكتروني بدلاً من صمام التمدد الحراري، يمكن تقليل إعدادات التحكم في ضغط الرأس بدرجة كبيرة. ومن الممكن تحقيق وفورات في الطاقة تصل إلى حوالي 20 في المائة؛

[25] قد يتطلب ذلك مبادل حراري أكبر وأغلى.

[26] يعد اختيار المبادل الحراري دائمًا عملية اختيار تقنية اقتصادية. وكلما كان المبادل الحراري المختار أكبر، كان تأثير الكفاءة أعلى.

(ه) التحكم في المضخات والمراوح المساعدة: تستخدم العديد من الأنظمة المراوح لتدوير الهواء البارد أو المضخات لتدوير الماء البارد. تقليديا، كانت هذه الأجهزة بسرعة ثابتة مصممة لكي تناسب حمل التصميم الرمزي. والأحمال المساعدة على الجانب البارد لنظام التبريد وتكييف الهواء "تعمل ضعفين"، لأنها بالإضافة إلى تشغيل المضخة أو المروحة، فإنها تخلق حمولة حرارة إضافية يجب إزالتها بواسطة نظام التبريد. وعند التحميل الجزئي، يمكن أن تصبح هذه الأحمال المساعدة جزءًا كبيرًا غير متكافئ من إجمالي استهلاك الطاقة. وباستخدام محركات أقراص متغيرة السرعة (VSDs)، يمكن إبطاء المراوح والمضخات عند الحمل الجزئي.

(و) التعديل الآخر للمعدات والإضاءة وإعادة التصميم للتشغيل الفعال في استخدام الطاقة: تشمل التدخلات الأخرى التي ستؤدي إلى تقليل الحمل الحراري وتشغيل المعدات بكفاءة استخدام الزجاج المضاد للضباب ومصابيح الحمل الحراري الأقل مثل مصابيح LED وتحسين تدفق الهواء في المعدات، والتدخلات الأخرى لتقليل الحمل الحراري (مثل أبواب الخزائن والستائر والأغطية الليلية) وأدوات التحكم في التسرب.

54- يقدم تقرير فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي معلومات عن تطور السوق بشأن الضواغط والمكونات الأخرى لمعدات تكييف الهواء ومعدات تكييف الهواء التجارية المستقلة ومدى توافرها والتكاليف وتأثير كفاءة استخدام الطاقة والتطبيق على المنطقة المناخية للمكونات المختلفة ذات الصلة بكفاءة استخدام الطاقة لمواد التبريد المتوسطة والمنخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي لهذه المعدات. وترد هذه المعلومات في المرفقات الثالث والرابع والخامس، على التوالي.

~~يلخص الجدول 1 تحسينات الكفاءة لمجموعة من تحسينات تصميم المكونات من "حالة أساسية" ممثلة بأحد المعايير الدنيا لأداء الطاقة الأوروبية.~~

~~الجدول 1- خيارات تحسين الكفاءة ووفورات الطاقة الموازية بناءً على الظروف الأوروبية~~

~~الخيار~~	~~الوصف~~	~~التحسين من الحالة الأساسية (%)*~~	
		~~الحد الأدنى~~	~~الحد الأقصى~~
~~الحمل الاحتياطي~~	~~الحمل الاحتياطي المخفض[27]~~	~~2~~	~~2~~
~~الضواغط ذات الكفاءة~~	~~ضواغط دوارة على مرحلتين، ضواغط لولبية عالية الكفاءة مزودة بمحركات التيار المباشر**~~	~~6~~	~~19~~
~~العاكس/ السرعة المتغيرة~~	~~AC (التيار البديل)***، التيار البديل/ التيار المباشر (DC) أو الضواغط التي يقودها عاكس التيار المباشر~~	~~20~~	~~>25~~
~~المبادل الحراري ذو الكفاءة~~	~~مبادلات حرارية ذات كفاءة عالية، مبادلات حرارية حجمها أكبر~~	~~9~~	~~29~~
~~صمام التمدد~~	~~صمامات التمدد الثرموستاتي والإلكتروني~~	~~5~~	~~9~~
~~تسخين علبة المرافق~~	~~مدة وقوة تسخين علبة المرافق المخفضة~~	~~9~~	~~11~~

~~(*) لن يكون تحسين الكفاءة التراكمي للتدابير المتعددة مجموع المكونات الفردية.~~
~~(**) DC: التيار المباشر~~
~~(***) AC: التيار البديل~~

ميزات التصميم التي ستدعم الخدمة والصيانة

55- عند دراسة المعدات الجديدة، يجب أن يدرس المصمم جانب الخدمة والصيانة ويقدم الميزات يمكن أن تساعد في ضمان كفاءة استخدام الطاقة الجيدة والمستمرة طوال عمر النظام. وتبدأ الخدمة والصيانة الصحيحتان بالتركيب والتشغيل المناسبين للمعدات. ويمكن أن تقلل ممارسات التركيب والتشغيل السيئة كفاءة المعدات في استخدام

[27] تستخدم الكهرباء فقط لإبقاء عناصر التحكم اللازمة نشطة، في انتظار تقديم خدمة النظام ولا يتأثر مستواه عمومًا بأي حمل تبريد.

الطاقة إلى حدٍ كبير ولا يمكن استرداد هذه الخسائر طول بقية عمر الجهاز. ويمكن أن تساعد أنظمة المراقبة والتحكم الجيدة مشغل المصنع أو فني الصيانة في التحقق من الأداء وتصحيح أي أخطاء تهدر الطاقة. ومن الأفضل دائمًا تضمين العدادات وأجهزة الاستشعار كجزء من النظام الجديد بدلاً من إضافتها في وقت لاحق.

اعتبارات ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة

56- تفرض البيئة التي ترتفع فيها درجة الحرارة المحيطة مجموعة إضافية من التحديات على اختيار مواد التبريد وتصميم النظام وفرص محتملة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة. وتتأثر اعتبارات تصميم النظام للحفاظ على كفاءة استخدام الطاقة في ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة_باختيار مادة التبريد نظرا لخصائص الديناميكية الحرارية ومتطلبات السلامة بسبب زيادة الشحن وتوافر المكونات والتكلفة. وقد أظهرت الأبحاث التي أجريت حتى الآن في ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة مدى صلاحية بعض البدائل ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي لتقديم نتائج كفاءة استخدام الطاقة مقارنة بالتكنولوجيات الحالية. وتعمل الأبحاث الممولة من القطاع العام، بالإضافة إلى مبادرات القطاع الخاص، على تحسين التصميم من أجل تحقيق أقصى قدر من الكفاءة في هذه الظروف الصعبة.

57- أحد أكثر الوسائل فعالية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في ظل ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة_هو_زيادة حجم المكثف. ومع ذلك، يؤدي هذا إلى زيادة تكلفة شحن غاز التبريد وتكلفة النظام. وتوجد حاجة لدراسة تأثير الانتقال على القابلية للاشتعال والسمية وضغوط التشغيل. وتعمل هيئات تطوير المعايير والواعد على تحسين اعتماد الجيل الجديد من مواد التبريد البديلة ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي. ويلخص الجدول 2 أدناه الاعتبارات المختلفة بشأن تأثير ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة_على كفاءة استخدام الطاقة.

58- تعمل الأجهزة ذات السرعة المتغيرة على تحسين كفاءة استخدام الطاقة في ظل ظروف درجة الحرارة العالية في البيئة المحيطة أيضًا مقارنةً بضواغط "التشغيل / الإيقاف". وتعطي الأجهزة ذات السرعة المتغيرة أكبر فائدة عندما يوجد تأرجح كبير في درجة الحرارة على مدار 24 ساعة. ومع ذلك، حتى عندما يكون التأرجح في درجة الحرارة صغيرًا، فلا تزال هناك وفورات كبيرة في المواسم "المتوسطة" (الربيع والخريف). وتتمثل إحدى ميزات الأجهزة ذات السرعة المتغيرة في تقيدها الوثيق بمنحنى الحمل / الطلب على التبريد اليومي في المبنى، مما يؤدي إلى تحقيق وفورات مقارنة بالنهج المدرج لضواغط "التشغيل-الإيقاف".

59- أدت المناقشة التي أجريت حول مدى ملاءمة مواد التبريد لظروف البيئة التي ترتفع فيها درجة الحرارة إلى العديد من مشروعات الاختبارات واسعة النطاق حيث تم إنشاء نماذج أولية تستخدم مواد تبريد ذات قدرة منخفضة ومتوسطة على إحداث الاحترار العالمي واختبارها في درجات حرارة عالية في بيئة محيطة تتجاوز 35 درجة مئوية. وكانت نتيجة هذه الاختبارات تحديد العديد من مواد التبريد، التي توفر كفاءة مماثلة في ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة. ويعيد المشروع PRAHA - هو مشروع ممول من الصندوق المتعدد الأطراف - في مرحلته الثانية (PRAHA-II) اختبار الوحدات المُحسّنة باستخدام الضواغط والمبادلات الحرارية الفعالة، التي أعيد بناؤها من النماذج الأصلية.

60- لم تعد ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة بوجه عام مشكلة لأجهزة تكييف الهواء التجارية المستقلة، التي توضع داخل المتاجر والمحلات التجارية المكيفة غالبًا. ومع ذلك، في البلدان النامية، توضع أجهزة تكييف الهواء التجارية المستقلة في الهواء الطلق خارج المباني أحيانًا لمنع الحمل الحراري الإضافي داخل المبنى وسيؤثر ذلك على الأداء. لقد اختبر رواد الصناعة أنه في ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة، تكون درجة الحرارة المحيطة داخل المباني أعلى بخمس درجات مئوية تقريبًا من درجة الحرارة المحيطة داخل المباني في الظروف التي لا ترتفع فيها درجة الحرارة في البيئة المحيطة (بيانات توبتن غير المنشورة). ومع ذلك، فإن درجة الحرارة المرتفعة هذه ليست كافية للتأثير على كفاءة استخدام المنتج للطاقة.

61- يلخص الجدول 1 أدناه الاعتبارات المتعددة بشأن تأثيرارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة على كفاءة استخدام الطاقة.

الجدول 1- اعتبارات مختلفة حول تأثير ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة على كفاءة الطاقة

الاعتبار	الوصف	تأثير ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة	تدابير خاصة
اختيار مادة التبريد	خصائص الديناميكية الحرارية وصفات القابلية للاشتعال	القرب من درجة الحرارة الحرجة يقلل من الكفاءة الحد من كمية شحن مادة التبريد الكبيرة	اختيار مادة التبريد
تصميم النظام	أحمال التبريد ودرجات حرارة التكثيف والضغوط	تؤدي أحمال التبريد الأكبر إلى أجهزة أكبر درجات حرارة التكثيف والضغوط الأعلى	اختبار النظام (ضغط الاندفاع والإحكام والتشغيل) لتوضيح سبب ارتفاع ضغط التشغيل، مع الحفاظ على الكفاءة
التصنيع	يحتاج التصميم والتركيب إلى توضيح سبب ارتفاع الضغط	ضرورة وجود تصميم خاص ومكونات خاصة لتلبية معايير كفاءة استخدام الطاقة في ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة	أن تحسن الشركات المصنعة المحلية التصميم وقدرات التصنيع باستمرار
الخدمة	ممارسات الخدمة في درجات حرارة وضغوط أعلى	خطر فشل النظام وفقدان الكفاءة	تدريب الفنيين
السلامة	القواعد	كميات مواد التبريد لكل مساحة مشغولة بسبب ارتفاع الأحمال الحرارية قيود بسبب زيادة الشحن	تقييم المخاطر

تحديات لفهم التكنولوجيات الموفرة للطاقة

62- إن المعدات والأنظمة الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة في قطاعات التبريد وتكيف الهواء والمضخات الحرارية متاحة بالفعل. على سبيل المثال، اكتشفت دراسة أجريت على كفاءة نماذج أجهزة تكييف الهواء المختلفة أن أفضل طرازات أجهزة تكييف الهواء المتاحة كانت أكثر كفاءة من متوسط الطرز الموجودة في السوق العالمية بضعفين أو ثلاثة أضعاف. ويبين هذا وجود إمكانية كبيرة لتحقيق وفورات كبيرة في الطاقة باستخدام المعدات الموجودة بالفعل في السوق في قطاع التبريد وتكيف الهواء والمضخات الحرارية. ستقلل المعايير والعلامات الواعدة وأنواع أخرى من سياسات تحويل السوق (مثل الحوافز أو المشتريات أو الجوائز) من متطلبات الطاقة في البلدان التي تكون الطاقة فيها أعلى من سعرها بالفعل.

63- عادةً ما يكون للمنتجات عالية الكفاءة، ولكن ليس دائمًا، تكلفة أولية أعلى مقارنةً بالمنتجات منخفضة الكفاءة. ويعزى ذلك جزئيًا إلى أن الطُرز عالية الكفاءة تُباع غالبًا كمنتجات مميزة مضمنة بميزات أخرى غير الطاقة.[28] وتميل المنتجات عالية الكفاءة أيضًا إلى الحصول على مجموعة كبيرة من أسعار السوق مقارنةً بالمنتجات الأقل كفاءة. ويمكن أن يؤدي تطبيق معايير الكفاءة الصارمة بإفراط إلى رفع الأسعار بغير قصد، إن لم يتم ذلك بعناية، غالبًا مع تغييرات في الخطوات المتفق عليها مع الشركات المصنعة لأجهزة تكييف الهواء. ومن أجل تقليل آثار تدابير السوق غير الملائمة مثل المعايير الدنيا لأداء الطاقة، ينبغي تصميم هذه التدابير مع وضع هدف طويل الأجل في الاعتبار في جدول زمني يتماشى مع وتيرة تطوير التكنولوجيا ودورات الاستثمار في القطاع ذي الصلة.

64- وتندرج العوائق التي تحول دون اعتماد تدابير كفاءة استخدام الطاقة ضمن الفئات التالية: تقنية ومالية وسوقية ومعلوماتية ومؤسسية وتنظيمية وكفاءة الخدمة وغيرهم. ويرد وصف هذه العوائق وتدابير التخفيف في الجدول 3.

[28] يتعلق جانب هام من تكاليف المنتجات عالية الكفاءة بارتفاع تكلفة المكونات.

الجدول 2- التحديات التي تواجه استيعاب تكنولوجيات ووسائل موفرة للطاقة لإزالتها

العائق	الوصف	تدبير التخفيف	التنفيذ (سنوات)
تقني	قد لا تتوفر مرافق الاختبار لتقييم وقياس والتحقق من كفاءة استخدام الطاقة على الإطلاق، أو فقر الموارد أو القدرة الكافية لتلبية الطلب. وقد تفتقر الشركات المصنعة المحلية إلى القدرة التقنية لتصنيع معدات عالية الكفاءة. وقد تكون الملكية الفكرية عائقًا أمام تصنيع المكونات عالية الكفاءة	تركيب مرافق الاختبار المناسبة التدريب وبناء القدرات للمصنعين المحليين نقل التكنولوجيا للملكية الفكرية، أو تصميم برامج المشروعات المشتركة / البحث والتطوير التعاوني	3-1
مالي	تكلف المعدات ذات الكفاءة العالية عمومًا تكلفة لإنتاجها أكثر من المعدات ذات الكفاءة الأقل. وكثيرا ما يتم تجميع المكونات الفعالة مع ميزات أخرى وتباع بسعر أعلى.[29] وتلعب تكلفة توافر التمويل دورًا مهمًا	تمويل منخفض التكلفة، وبرامج خصم للمرافق، وبرامج الشراء بالجملة، ونوادي المشتريين وأنواع أخرى من برامج المشتريات	2-1
سوقي	قد يكون مشتري المعدات مختلفين عن مستخدمي المعدات، على سبيل المثال، في استئجار المساكن. ويمكن أن يمثل هذا عائقًا أمام شراء المعدات ذات الكفاءة العالية لأن الحافز لفعل ذلك غير متوفر للمشتري	حوافز لمشتري المعدات ذات الكفاءة	1-0,5
معلوماتي	قد لا تكون المعلومات المتعلقة بتوفر أو فوائد المعدات عالية الكفاءة متاحة للمستخدم النهائي. ويمكن أن تكون مقاييس كفاءة استخدام الطاقة تقنية أو يصعب فهمها. ويمكن معالجة هذا النوع من العوائق جزئيًا من خلال خطط التوصيف الإلزامية أو التطوعية أو التصنيف بالنجوم أو أنواع أخرى من برامج التثقيف والتوعية	برامج توصيف كفاءة استخدام الطاقة الإلزامية أو الطوعية، وحملات التوعية والتثقيف	1-0,5
مؤسسي/ تنظيمي	قد يوجد نقص في التشريعات الخاصة بكفاءة استخدام الطاقة، أو عدم وجود إطار تنظيمي أو وجود إطار ضعيف، أو معايير ضعيفة أو غير قابلة للتنفيذ أو نقص في القدرة التقنية على تنفيذ الأنشطة المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة مثل المعايير أو التوصيف	سن التشريعات والأطر التنظيمية المناسبة، وتصميم مقياس مناسب للتقييم وآليات التحقق، وبناء قدرات الهيئات التنظيمية وصانعي السياسات، ومواءمة المعايير الدنيا لأداء الطاقة	4-2
كفاءة الخدمة	قد تتطلب المعدات عالية الكفاءة استخدام أحدث التكنولوجيات التي تتطلب مهارات فنية جديدة. وإذا وجدت فجوة في المهارات بين تلك اللازمة للمعدات المختارة وكفاءة مقدم الخدمة، قد لا يتم استخدام المعدات عالية الكفاءة	برامج التدريب لفنيي الخدمة	3-1
أخرى	قد توجد تصورات خاطئة عن المنتجات عالية الكفاءة، التي قد تعاني من حيث الجودة و/ أو الصيانة أو معايير الأداء الأخرى[30]	برامج التوعية والتثقيف حول فوائد المعدات الموفرة للطاقة بما في ذلك فترات الاسترداد	1-0,5

رابعا- مشكلات التكلفة المتعلقة بالتكاليف الإضافية المصاحبة وفرص الاسترداد وتكاليف الرصد والتحقق

65- يتم توثيق الفوائد الاقتصادية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة بشكل جيد، وتختلف حسب نوع الجهاز والتطبيق والطقس والوقت والعوامل المحلية مثل معدلات الخصم وساعات الاستخدام وأسعار الكهرباء وخسائر النقل والتوزيع.[31]

[29] أظهرت الأبحاث أنه بمرور الوقت، ومع زيادة حجم الإنتاج، انخفضت أسعار المعدات الأكثر كفاءة في معظم الأسواق. ومع ذلك، في أي وقت معين، ستظل المعدات الأكثر كفاءة تميل إلى البيع بسعر أعلى، حتى إذا كان السوق ككل يميل نحو الكفاءة الأعلى.

[30] "الموثوقية غير مؤكدة" لأن هذه المنتجات جديدة في السوق؛ قد يتردد من يقومون بالتركيب والعملاء وغيرهم في تطبيق التكنولوجيا الجديدة.

[31] قدرت إدارة معلومات الطاقة الأمريكية أن متوسط تكلفة الإنشاء للمولدات الجديدة في عام 2016 تبلغ حوالي 2000 دولار أمريكي لكل كيل وات، أي أكثر من مليارى دولار أمريكي لكل محطة كهرباء جديدة إذا تم تضمين تكاليف التمويل. https://www.eia.gov/electricity/generatorcosts/

66- فوائد تحسين كفاءة استخدام الطاقة التي تذكر كثيرا هي تحقيق وفورات في الطاقة والتكلفة وانبعاثات غازات الدفيئة، وفي حالة تبريد الفراغ، خفض الحمل الأقصى. سيضيف الانتقال إلى مواد التبريد ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي المزيد من هذه الوفورات.[32]

67- بالإضافة إلى ذلك، توجد حالات مراضة ووفيات يمكن تجنبها بسبب فقر الطاقة وتقليل أيام المرض وتحسين الراحة وتقليل التلوث (أكسيد الكبريت وأكسيد النيتروجين والجسيمات) وتجنب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ومن المقدر أن هذه الفوائد المشتركة يمكن أن توفر 75 في المائة إلى 350 في المائة إضافية لفوائد توفير الطاقة المباشرة لكفاءة استخدام الطاقة.[33]

منهجية لحساب تكاليف رأس المال والتشغيل

68- أنشأت أطراف مختلفة برامج تحويل السوق من أجل تعزيز كفاءة استخدام الطاقة بما في ذلك المعايير الدنيا لأداء الطاقة وبرامج التوصيف. على سبيل المثال، يستخدم كل من برنامج معايير الأجهزة والمعدات التابع لوزارة الطاقة الأمريكية والدراسات التمهيدية لتوجيهات التصميم الإيكولوجي للاتحاد الأوروبي تحليلًا هندسيًا "تصاعديا من القاعدة إلى القمة" استنادًا إلى جمع البيانات واختبارها ووضع نماذج للمعدات الأكثر كفاءة لتحديد تكلفة التصنيع الفعلية (مثل مقابل سعر التجزئة) من أجل تحسين الكفاءة. عادةً ما يستخدم هذا النهج "التصاعدي" برامج تصميم المعدات القياسية في الصناعة[34] وبيانات اختبار المعدات ذات الكفاءة العالية من أجل تحديد خيارات التصميم للمعدات ذات الكفاءة العالية من نموذج "حالة أساسية" يمثل كفاءة منخفضة أو متوسطة في السوق المعنية. وبعد ذلك، يتم إجراء دراسة استقصائية لتكاليف خيارات التصميم عالية الكفاءة هذه عن طريق إجراء مقابلات مع خبراء الصناعة والمصنعين وموردي المكونات من أجل إنشاء صورة لتكاليف المعدات ذات الكفاءة العالية.

69- تقدم هذه المنهجية "لقطة سريعة" لتكلفة تحسين الكفاءة في أي وقت محدد وستقدم تقديرا متحفظا (أي أعلى) لتكلفة تحسين الكفاءة. وفي الممارسة الفعلية، وجد أن أسعار المعدات ذات الكفاءة العالية تنخفض مع مرور الوقت في العديد من الأسواق حيث بدأ إنتاج معدات ذات كفاءة أعلى على نطاق واسع. ينطبق هذا بوجه خاص على المعدات الصغيرة التي تنتج بكميات كبيرة حيث يمتص المصنعون بسرعة تكاليف التطوير الأولية ويحاولون الوصول إلى "نقاط سعر" معينة تساعدهم على بيع معداتهم.

70- واستخدمت عمليات مماثلة أيضًا بدرجة محدودة لدعم عمليات معايير كفاءة استخدام الطاقة في بلدان مثل الصين والهند. رغم أنه يمكن استخدام هذه المنهجية بشكل عام لتقدير التكاليف التي يتحملها مصنعو صيانة و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة لكل من أطراف المادة 5 والأطراف غير أطراف بالمادة 5 التي تتمتع بالقدرة على التصنيع، من المرجح أن تكون التكاليف التي يتحملها المستهلك في صيانة و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة مماثلة لجميع الأطراف مع تكاليف الشحن الإضافية للأطراف المستوردين.

جمع البيانات

71- نظرًا لطبيعة العمليات التجارية، توجد بيانات محدودة متاحة علناً عن تكاليف رأس المال والتشغيل التي تتحملها الشركة المصنعة بسبب التحسينات في كفاءة استخدام الطاقة لمعدات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية. علاوة على ذلك، تبين نظرة سريعة على أسعار التجزئة وكفاءة المعدات في السوق العالمية تباينًا كبيرًا في أسعار المعدات ذات مستويات الكفاءة المماثلة، مما يوضح أن أسعار التجزئة وحدها ليست مؤشراً جيدًا على تكلفة صيانة و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة في معدات جديدة.

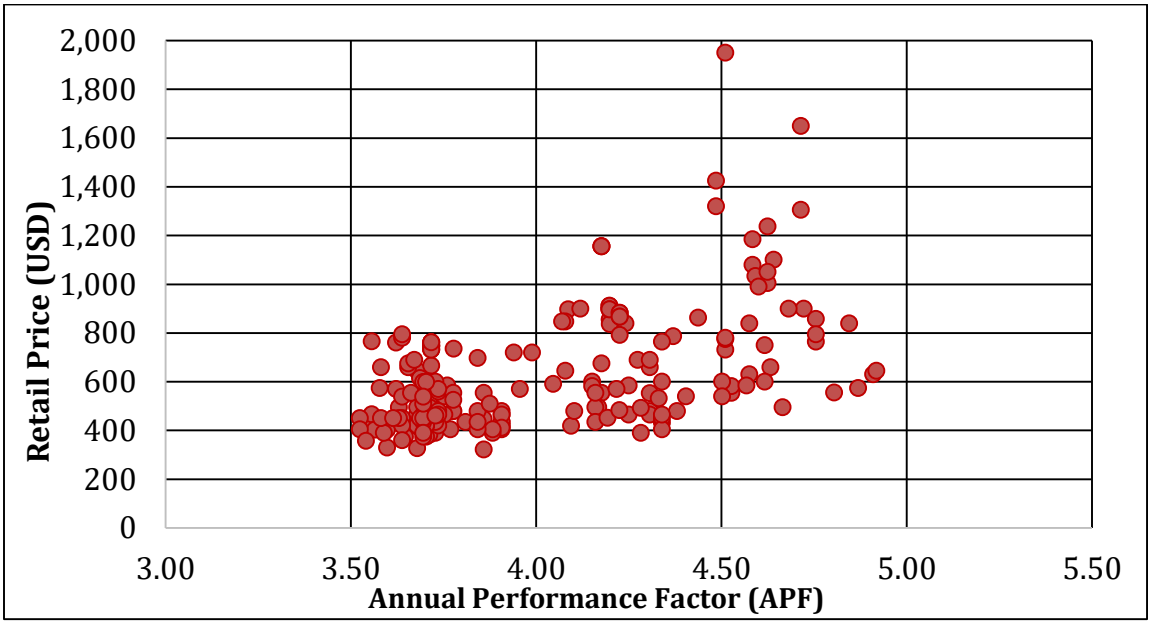
[32] يمكن عمل ذلك بالتزامن مع إدخال منتجات عالية الكفاءة في استخدام الطاقة.

[33] إرج فورساتز وآخرون، 2014.

[34] على سبيل المثال، استخدم [فريدلي وآخرون2001] نموذج تصميم المضخة الحرارية الخاصة بمختبر أوك ريدج الوطني، مارك ف، الإصدار 95 د [ORNL، 1996؛ فيشر ورايس، 1983؛ فيشر وآخرون. 1988].

72- وترد أدناه عدة أمثلة للبيانات التي تم جمعها من أجل تطوير المنهجية.[35]

(أ) أسعار التجزئة ليست كافية لفهم تكلفة صيانة و/ أو تعزيز كفاءة استخدام الطاقة: يقدم الشكل 3 مثالاً على وحدات أجهزة تكييف الهواء الصغيرة متغيرة السرعة ذات سعة تبريد قدرها 3,5 كيلو وات ومستوى كفاءة استخدام الطاقة حوالي 4,5 وات إلى وات (W/W) (تقاس وفقًا لمعيار عامل الأداء السنوي) في الصين.[36] وتتراوح أسعار التجزئة بين 500 و 2000 دولار أمريكي تقريبًا، بمعنى تباين قدره أربعة أضعاف (400 في المائة). يصح تأثير التباين الكبير في الأسعار عند مستوى كفاءة واحد لقدرات تبريد متعددة ومستويات كفاءة متعددة ولكلٍ من أجهزة تكييف الهواء ذات السرعة الثابتة والمتغيرة؛

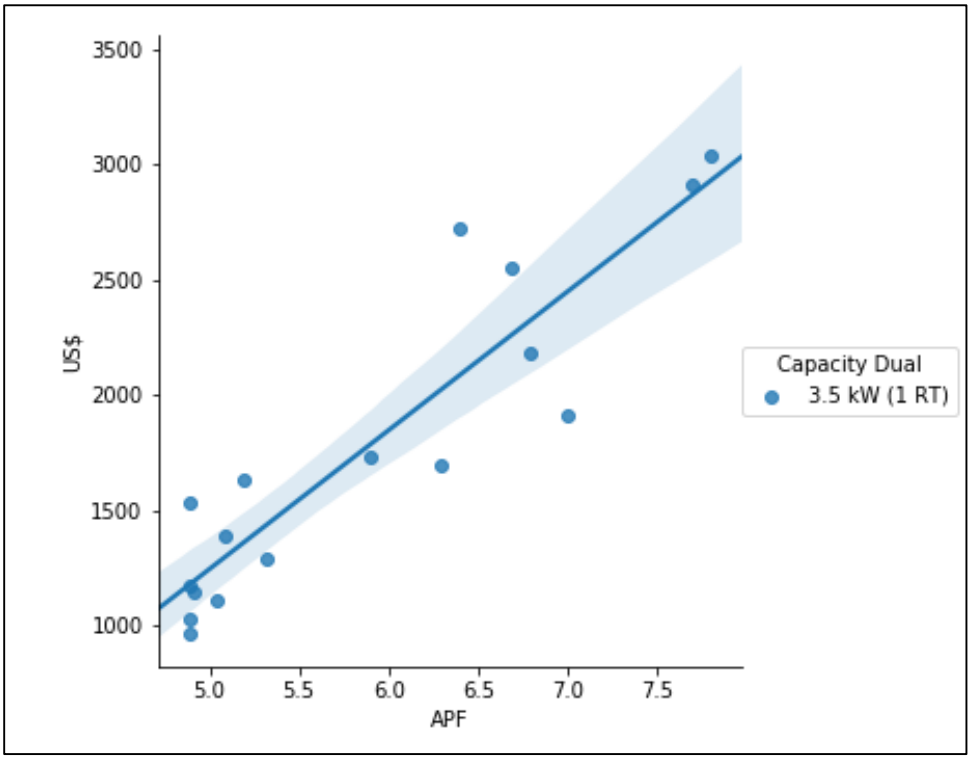


الشكل 3- سعر التجزئة مقابل كفاءة أجهزة تكييف الهواء صغيرة الحجم بقدرة 3,5 كيلو وات في السوق الصينية.
المصدر: شاه وبارك وغيرك، 2017

(ب) يبين استعراض لسوق أجهزة تكييف الهواء في اليابان أن أجهزة تكييف الهواء الموجودة في السوق لديها نطاق أعلى من كفاءة استخدام الطاقة. ورغم وجود ارتباط أساسي قوي بين كفاءة استخدام الطاقة وسعر الوحدة، مازال يوجد تباين كبير في السعر عند مستوى كفاءة معين. ويصف الشكل 4 العلاقة المتبادلة بين السعر وكفاءة استخدام الطاقة لجميع الطرز ذات القدرة 3,5 كيلو وات التي تعمل بالهيدروفلوروكربون-32 كغاز تبريد. ويبلغ معدل زيادة الأسعار حوالي 603 دولار أمريكي لكل نقطة (معيار عامل الأداء السنوي) كفاءة استخدام الطاقة.

[35] قدم تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي منهجية لتقييم التكلفة استناداً إلى البيانات المجمعة على النحو الوارد في هذه الوثيقة.

[36] قاعدة بيانات IDEA الخاصة بمختبر لورنس بيركيلي الوطني وقاعدة بيانات المعهد الوطني الصيني للتوحيد القياسي.



الشكل 4- دراسة استقصائية لسعر التجزئة مقابل كفاءة استخدام الطاقة في معيار عامل الأداء السنوي لجهاز تكييف الهواء مصغر منفصل في السوق اليابانية

(ج) التكاليف ووفورات الطاقة لمختلف خيارات تحسين الكفاءة: يوضح الجدول 4 خيارات تحسين الكفاءة لمختلف المكونات لجهاز تكييف الهواء صغير منفصل بقدرة 5,27 كيلووات مع وفورات الطاقة المتوقعة من نموذج "الحالة الأساسية" وتكاليفها الموازية لكل وحدة في الهند .

الجدول 3- خيارات تحسين الكفاءة ووفورات الطاقة وتكلفة التصنيع لجهاز تكييف الهواء صغير منفصل بقدرة **5,27 كيلووات في الهند**

التكنولوجيا	توفير الطاقة (%)	تكاليف التصنيع الإضافية (دولار أمريكي[37])
تحسين الضواغط	15.0 - 5.5	12.27 - 1.43
الضواغط ذوي السرعة المتغيرة	23.0 - 21.0	115.54 - 25.67
محركات متغيرة السرعة للمراوح والضواغط	26.0	134.79 - 44.93
تحسين المبادل الحراري	24.0 - 7.5	156.90 - 10.48
صمام التمدد	6.5 - 3.5	32.09 - 1.78

(د) زيادة أسعار الكفاءة مع تغيير مواد التبريد أو بدون تغيرها: لعلامة تجارية صينية، كانت زيادة الأسعار لتحسين الكفاءة بحوالي 13- 15 في المائة لجهاز تكييف الهواء متغير السرعة بقدرة 3,5 كيلو وات باستخدام المادة R-410A حوالي 6 في المائة . ومع ذلك، عندما تم تحديث كل من الكفاءة وغازات التبريد (أي من 5 إلى 8 في المائة للتحسين ومن المادة R 410A إلى الهيدروفلوروكربون-32)، كانت زيادة الأسعار حوالي 11 في المائة.

[37] دولار واحد = 70,11 النسبة الدولية المطبعة

تكلفة وفترة الاسترداد لمستويات كفاءة مختلفة للمستهلك

73- قدّرت فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي التكلفة الرأسمالية الإضافية اللازمة لتصنيع معدات تستخدم مادة تبريد قابلة للاشتعال، مقارنةً بمادتي التبريد الأساسيتين R-410A والهيدروكلوروفلوروكربون-22 لوحدات تكييف الهواء الصغيرة المنفصلة ذات قدرة تصل إلى 10 كيلو واط (تبريد / تدفئة) والهيدروكلوروفلوروكربون-22 الأساسي لأجهزة تكييف الهواء التجارية المستقلة. وترد في الجدول 4 أدناه المعلومات المتعلقة بتقديرات التكلفة الإضافية للتحويل من خطوط تصنيع المادة R-410A أو الهيدروكلوروفلوروكربون-22 إلى مواد التبريد القابلة للاشتعال الذي قدمته فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي.

الجدول 4: تقديرات فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي لأقصى تكلفة إضافية للتحويل من المادة R-410A أو الهيدروكلوروفلوروكربون-22 خطوط إنتاج (عالية القدرة على إحداث الاحترار العالمي، غير قابلة للاشتعال) إلى مواد تبريد قابلة للاشتعال

البند/ الوصف[38]	البند الفرعي	النسبة المئوية لأقصى تكلفة إضافية لمواد التبريد الأساسية
تغيرات خط الإنتاج/ التجميع	معدات المبادل الحراري للأنابيب الأصغر من أجل كفاءة استخدام الطاقة[39]*	%100
	وحدات شحن مواد التبريد	%30
	تغيرات جوانب الاختبار (لوحات كهربائية، ملحقات شبكة الأنابيب)	%30
	تغيرات منطقة الشحن بما فيها صهاريج مواد التبريد والملحقات	%100
	توزيع مادة التبريد داخل المصنع	%100
	تكلفة العمالة	%15
شروط السلامة مناطق الشحن والاختبار	نظام التهوئة	%30
	نظام التحكم	%30
	نظام كشف التسرب	%30
	الأرضية المضادة للكهرباء الاستاتيكية	متغيرة
	تكلفة العمالة للتشغيل والصيانة من أجل نظام السلامة	متغيرة
تكلفة المكلية الفكرية/ معرفة التكنولوجيا	تكلفة الملكية الفكرية/ المعرفة	متغيرة
	تطوير تصميم برامج العقل الإلكتروني*	متغيرة
	تغييرات وتعديلات مرفق الاختبار	%50
	تدريب الموظفين من أجل شروط السلامة	%10
	الخبراء والاستشاريين الخارجيين*	متغيرة
اللوجيستيات وطريقة التناول	تكلفة تغييرات وتعديلات منطقة تخزين مواد التبريد القابلة للاشتعال	%200
	تكلفة شحن الحمولات في الشحن البري والبحري	متغيرة
	توزيع مادة التبريد داخل المصنع	متغيرة
	التكلفة الإضافية للتأمين على المصنع والموظفين	متغيرة
	تكلفة إصدار الشهادات للهيئات التنظيمية	%20
	تدريب الموظفين	%30
	تدريب الطرف (الأطراف) صاحب السلطة	%30
	التوعية داخل/ خارج الشركة	%30

(*) يوفر فرصة لكفاءة استخدام الطاقة (الخلايا المميزة).

74- تقدم فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي تفاصيل التعديلات و / أو البدائل اللازمة في عملية الإنتاج لإنتاج أجهزة تكييف الهواء المنزلية باستخدام مواد التبريد القابلة للاشتعال أيضًا. وترد تفاصيل التكاليف في المرفق السادس بهذه الوثيقة.

[38] بعض البنود الفرعية غير لازمة في خطوط التصنيع لمادة التبريد R-410A.

[39] يمكن استخدام المبادل الحراري ذي قطر الأنبوب الأصغر في كل من مادتي التبريد R-410A والهيدروفلوروكربون-22.

تكلفة وفترة الاسترداد لمستويات كفاءة مختلفة للمستهلك

75- يوضح الجدول 5 تكلفة دورة الحياة (سعر التجزئة بالإضافة إلى تكلفة التركيب زائد تكلفة الطاقة على مدى عمر الجهاز) وفترة الاسترداد (الفترة الزمنية التي تستغرقها مدخرات الطاقة لكي تتجاوز تكلفة التركيب الأعلى) للمستهلك المحسوبة باستخدام المنهجية المذكورة أعلاه من وثيقة لوزارة الطاقة الأمريكية[40] بشأن وضع القواعد لأربعة مستويات من الكفاءة أعلى من المستوى الأساسي الذي يتم اعتباره لمكيف الهواء صغير الانقسام. مستويات الكفاءة الأعلى لها تكاليف تثبيت أعلى، لكن تكاليف تشغيل أقل مدى الحياة. تشير البيانات إلى أنه في التطور التكنولوجي الحالي، يوجد حد أقصى للكفاءة عند هذه النقطة لن تؤدي وفورات الطاقة إلى استرداد التكلفة الأعلى المرتفعة خلال عمر الجهاز.

الجدول 5- التكلفة المثبتة وتكلفة دورة الحياة وفترة الاسترداد البسيطة للمستهلك من أجل مستويات كفاءة مختلفة لمكيفات الهواء الصغيرة المنفصلة في الولايات المتحدة الأمريكية

وحدة القياس (W/W)	متوسط التكاليف (دولار أمريكي)			الاسترداد البسيط (سنوات)	متوسط مدى الحياة (سنوات)
	تكلفة التركيب	تكلفة التشغيل مدى الحياة	تكلفة دورة الحياة		
4.1 (أساس)	3,714	4,758	8,472	N/A	15.3
4.3	+38	-93	-55	4.5	15.3
4.4	+105	-189	-84	4.8	15.3
4.7	+259	-295	-36	8.2	15.3
5.6	+1,105	-602	+503	16.6	15.3

76- يوضح الجدول 6 توزيع تكاليف دورة الحياة لوحدات تكييف الهواء النموذجية بقدرة 5 كيلو وات على ثلاث مستويات من كفاءة استخدام الطاقة في الهند (نجمتان و3 نجوم و 5 نجوم)، وهو ما يمثل حوالي 90 في المائة من إجمالي السوق. مساهمة مادة التبريد في تكلفة دورة الحياة بسيطة (أقل من 1 في المائة). وتبلغ تكلفة دورة حياة الوحدات 2 و 3 و 5 نجوم 1,672 دولار أمريكي و 1,704 دولار أمريكي و 1,540 دولار أمريكي على التوالي. ويبين هذا أنه على الرغم من ارتفاع سعر النظام من نجمتين إلى 5 نجوم، إلا أنه يؤدي إلى توفير تكلفة دورة حياة صافية قدرها 131,22 دولار أمريكي.

الجدول 6- توزيع تكلفة دورة الحياة بالنسبة المئوية لجهاز تكييف الهواء بقدرة 5 كيلو وات يعمل بالمادة R-410A في الهند على مستويات كفاءة مختلفة[41]

النجوم	سعر النظام	سعر مادة التبريد	تكلفة التبريد	تكلفة الطاقة مدى الحياة
نجمتان	25.9	0.5	1.3	72.3
3 نجوم	30.9	0.5	1.3	67.4
5 نجوم	42.8	0.7	1.4	55.1

77- بالنسبة لفئة معدات خزائن العرض المستقلة الرأسية الشفافة[42]. يوضح الجدول 7 وفورات تكلفة دورة الحياة[43] عند مستويات الكفاءة المختلفة المحسوبة باستخدام المنهجية الموضحة أعلاه من وثيقة حديثة لوزارة الطاقة لسبع مستويات كفاءة أعلى من مستوى الكفاءة الأساسية جنبا إلى جنب مع قيمهم التقريبية السنوية لاستخدام الطاقة. ومستويات الكفاءة الأعلى لها تكاليف تثبيت أعلى، لكن تكاليف تشغيل أقل مدى الحياة. وتشير البيانات إلى أنه على

[40] الموقع الإلكتروني: https://www.regulations.gov/document?D=EERE-2014-BT-STD-0048-0098

[41] الشكل 2.15 من تقرير فرقة العمل بشأن قرار فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي 10/29 الذي تم تحويله إلى جدول.

[42] هذا واحد من 49 فئة مختلفة من المعدات التي تستخدمها وزارة الطاقة لتنظيم معدات التبريد التجارية.

[43] هذه المنهجية موضحة في القسم 3.5.1 من تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي (سبتمبر/ أيلول 2019).

مستوى تطوير التكنولوجيا خلال الإطار الزمني المحدد القياسي (~2013-2014)، يوجد حد أقصى للكفاءة حول مستويات الكفاءة 2 و 3 و 4[44] عند هذه النقطة ستسبب وفورات الطاقة أقصى فائدة للمستهلكين.

الجدول 7: وفورات في تكلفة دورة الحياة على مستويات كفاءة مختلفة محسوبة باستخدام منهجية وزارة الطاقة. يتوافق كل مستوى كفاءة مع خيار تصميم ممكن في وقت وضع القواعد

المستوى	استخدام الطاقة السنوي،كيلووات ساعة/سنة	متوسط قيم			وفورات تكلفة دورة الحياة			متوسط فترة الاسترداد، سنوات
		تكلفة التركيب، 2012 دولار	تكلفة التشغيل السنوية، 2012 دولار	التكاليف الرأسمالية الإضافية، 2012 دولار	متوسطوفورات التكاليف الرأسمالية الإضافية، 2012 دولار	نسبة العملاء المجلابين (%)		
						Net Cost	No impact	Net benefit	
1	10,022	6,498	1,270	19,135	2,503	0.0	10.1	89.9	0.5
2	6,727	6,799	970	16,433	5,200	0.0	10.1	89.9	0.8
3	6,654	6,822	964	16,397	4,709	0.0	0.0	100	0.8
4	6,318	6,974	921	16,110	4,996	0.0	0.0	100	1.0
5	6,262	7,003	917	16,105	5,001	0.0	0.0	100	1.1
6	6,174	7,073	913	16,127	4,979	0.1	0.0	99.9	1.2
7	5,857	8,909	948	18,294	2,812	10.8	0.0	89.2	4.7

~~تكاليف رأس المال والتشغيل~~

~~*معدات التبريد التجارية المستقلة*~~

~~سوف يتطلب الانتقال من خيارات المواد الهيدروكلوروفلوروكربونية والهيدروفلوروكربونية ذات قدرة مرتفعة على إحداث الاحترار العالمي إلى خيارات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي بعض الاستثمار في التصنيع والمعدات. هذا صحيح بوجه خاص عندما يكون الانتقال إلى مواد التبريد القابلة للاشتعال مثل المادة A2L أو A3. وبشكل عام، تبين البيانات الميدانية أن التكلفة التي يتحملها المستهلك لنظام مستقل يعمل بالمادة R-290 يمكن أن تختلف من 0 إلى 5 في المائة على الأنظمة التقليدية. وغالبًا ما يمكن استرداد السعر الأعلى، إن وجد، مع انخفاض استهلاك الطاقة بواسطة هذه الأنظمة الأحدث.~~

~~ستختلف تكلفة تنفيذ أفكار تحسين الكفاءة الأخرى من صغيرة، كما في حالة الإضاءة الليد (LED)، إلى عالية للسرعة المتغيرة أو الضواغط عالية الكفاءة. وسيعتمد الاسترداد على تكلفة الكهرباء في المنطقة المعنية، ولكن نظرًا لأن معظم المناطق تنظم هذه الأنظمة، فمن المتوقع أن يتبنى السوق الطريقة الأقل تكلفة لتحقيق الحد الأدنى من الكفاءة المطلوبة.~~

~~سيؤدي الانتقال إلى خيارات مواد التبريد ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي إلى تحسينات في تكاليف التشغيل من صفر في المائة إلى 10 في المائة بناءً على مادة التبريد المختارة. ويمكن أن تخفض مادة التبريد R-290 تكلفة الكهرباء بنسبة تتراوح بين 5 و 10 في المائة مقارنة بالهيدروكلوروفلوروكربون 22. وسوف تقلل تحسينات إضافية بالمراوح متغيرة السرعة والضواغط والإضاءة الليد (LEDs) وغير ذلك من الجهود من استهلاك الطاقة بناءً على التحسين الذي تم.~~

~~*وحدات التكثيف*~~

[44] تدرس وزارة الطاقة مستويات الكفاءة المختلفة خلال كل عملية صياغة فواعد تتوافق مع التقنيات وخيارات التصميم ومجموعات من خيارات التصميم لتحسين كفاءة استخدام الطاقة التي تكون ممكنة تقنياً في وقت وضع المعايير.

سيتطلب الانتقال من خيارات الهيدروكلوروفلوروكربون والهيدروفلوروكربون ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي إلى خيارات ذات قدرة منخفضة على إحداث الاحترار العالمي بعض الاستثمار في التصنيع والمعدات.[45] هذا صحيح بوجه خاص عندما يكون الانتقال إلى مواد التبريد القابلة للاشتعال مثل خلطات مادة التبريد A2L أو المادة A3. تقليل الحمل الحراري من خلال العزل الأفضل، خاصة في ثلاجات التبريد والمجمدات، واستخدام مصابيح LED، وبعض التحسينات الأخرى في الكفاءة هم انخفاض التكلفة الرأسمالية الأولى وتحقيق مكاسب في العائد طوال عمر الجهاز. مرة أخرى، الاسترداد هو دالة على التكلفة المحلية للكهرباء ويمكن أن يختلف من منطقة إلى أخرى. وتلعب اللوائح دورًا رئيسيًا في اعتماد تحسين الكفاءة.

من المتوقع أن يؤدي الانتقال من خيارات الهيدروكلوروفلوروكربون والهيدروفلوروكربون ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي إلى خيارات ذات قدرة منخفضة على إحداث الاحترار العالمي إلى خفض تكاليف الطاقة التشغيلية أو إبقائها ثابتة حسب اختيار مادة التبريد. ويعتبر الحد من الحمل الحراري من خلال العزل الأفضل، خاصة في مبردات التجميد والمجمدات واستخدام مصابيح LED بعض الأمثلة من طرق كفاءة استخدام الطاقة التي تؤدي إلى انخفاض استهلاك الطاقة، مما يؤدي إلى انخفاض تكاليف التشغيل.

الأنظمة المركزية والموزعة

برر الاقتصاد الذي يحركه السوق العديد من النظم المركزية والموزعة لاعتماد أساليب الكفاءة. وفي حالة أنظمة R-744، لكل من التعاقب دون الحرج وخاصة للأنظمة عبر الحرجة، حالت التكاليف الرأسمالية دون اعتمادها على نطاق واسع، خاصة في المناخات الدافئة. قارنت دراسة حديثة لمتجر صغير في أوروبا مع عشر حالات مبردة[46] المادة R-290 الموزع مع نظام ثاني أكسيد الكربون عبر الحرج. وكانت كفاءة نظام R-290 أفضل بنحو 5 في المائة على أساس سنوي وحوالي 25 في المائة أقل في تكلفة رأس المال من نظام ثاني أكسيد الكربون عبر الحرج. ومن أجل تحسين أداء نظام ثاني أكسيد الكربون، يمكن إضافة القاذفات أو الضواغط المتوازية ولكن تكلفة (الشراء) الأولية ستزداد.

في حالة أنظمة R-744، بالنسبة لكل من التعاقب دون الحرج ولا سيما للأنظمة عبر الحرجة، تكون تكاليف التشغيل ثابتة إلى أعلى قليلاً في حالة الحالات دون الحرجة، مقارنةً بالمادة R-404A. رغم أن بنية المادة R-290 يمكن أن تنجح لتصميم متجر صغير، سيكون من الصعب تبرير ذلك في متجر تكون فيه أنظمة التبريد أكبر كثيرا.

قطاع تكييف الهواء والمضخات الحرارية

توجد تكنولوجيات أثبتت أنها محايدة من حيث التكلفة، مثل تصميمات المبادلات الحرارية المتقدمة، والضواغط الدوارة، والضواغط الطاردة المركزية ذات السعة المتغيرة. وتوجد تكنولوجيات اخرى تسبب زيادة في التكلفة يمكن تقليلها بمرور الوقت بسبب وفورات الحجم، مثل المبادلات الحرارية للقنوات الصغرى وصمامات التمديد الإلكترونية، أو تظل كعنصر تكلفة استثنائية مثل ضواغط القدرة المتغيرة لأجهزة تكييف هواء الغرف الهواء المجمعة.

أوضحت الدراسات السابقة أنه يمكن استخدام خلطات الهيدروفلوروكربون/ الهيدروفلوروأوليفين الأقل قدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي بسهولة لكي تحل محل المادة R-410A مع بقاء أو تحسين أداء نظام التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية. ومع ذلك، لم تتمكن غازات التبريد والخلطات البديلة

[45] لا يتوقع أن يكون هذا مرتفعًا في حالة وحدات التكثيف لأن هذه المعدات غير مشحونة عمومًا بالمصنع. ربما يتم إجراء بعض التغييرات على التصميم، وقد تكون هناك حاجة لبعض مكونات السلامة وما إلى ذلك.

[46] الموقع الإلكتروني: http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/About_Us/News/Documents/FFR196_Emerson_Fact_sheet_Integral_Display_Case_Technology_EN_1711.pdf

للهيدروكلوروفلوروكربون-22 الأقل قدرة على إحداث الاحترار العالمي من مطابقة الأداء بسرعة. وأظهرت دراسة لاحقة أجراها شن وآخرون عام 2017،[47] أنه بالتحسين الهندسي، تستطيع بدائل الهيدروكلوروفلوروكربون-22 أن تطابق أو تتجاوز أداء وحدات الهيدروكلوروفلوروكربون-22 الحالية مع زيادة في الكفاءة تصل إلى 10 في المائة.

يوضح الجدول 7 مثالاً من وثيقة وزارة الطاقة الأمريكية بشأن وضع قواعد التكاليف الرأسمالية للكفاءة الأعلى لأربع مستويات للكفاءة اعتبرت لتكييف الهواء المنفصل المصغر بواسطة صناعة الولايات المتحدة ككل.

الجدول 7- تكاليف تحويل رأس المال على مستوى الصناعة لمختلف مستويات الكفاءة (2015)[48]

وحدة القياس (W/W)	التكاليف الرأسمالية للتحويل (ملايين الدولارات الأمريكية)	الشحنات[49] (مليون وحدة/ سنة)
4.2	61.0	6.5
4.4	205.6	6.5
4.7	337.9	6.5
5.6	373.0	6.5

مصفوفة التدخلات الفنية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة والتكاليف المرتبطة بها

يعرض الجدول 8 أدناه ملخصاً لمصفوفة التدخلات الفنية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة والتكاليف المرتبطة بها.

جدول 8- ملخص مصفوفة التدخلات الفنية لتحقيق كفاءة استخدام الطاقة والتكاليف المرتبطة بها

نوع الجهاز	المكونات الأساسية	التدخلات الفنية	تحسين كفاءة استخدام الطاقة	التكاليف المرتبطة بها
الجميع	درجة حرارة التبخير	تحسين درجة حرارة التبخير إلى أقصى حد	تسبب كل درجة مئوية من 2 إلى 4 في المائة	منخفضة
الجميع	الضوابط	تحسين الضوابط	10–50 في المائة	منخفضة–متوسطة
أجهزة تكييف هواء الغرف	المبادلات الحرارية	زيادة حجم المبادل الحراري، أو استخدام تصميمات متقدمة (أنابيب ذات قطر صغير أو مبادلات حرارية صغيرة)	9–29 في المائة	منخفضة–متوسطة
	الضواغط	ضواغط دوارة على مرحلتين، وضواغط لولبية عالية الكفاءة مع محركات التيار المباشر	5–19 في المائة	متوسطة
		ضواغط العاكس التي يشغلها التيار البديل/ التيار المباشر	20–30 في المائة	متوسطة
	صمام التمدد	صمام التمدد الثرموستاتي أو الإلكتروني	5–9 في المائة	منخفضة
	الحمل البديل	الأحمال البديلة المخفضة	2 في المائة	منخفضة
أجهزة تكييف الهواء المجمعة والكبيرة	الضواغط	استخدام ضواغط متعددة لتحسين جزء من أداء الحمل	حتى 20 في المائة	متوسطة
	الضواغط	استخدام الضواغط التي التيار المباشر/ التيار البديل أو التيار المباشر يشغلها العاكس	20–30 في المائة	متوسطة–عالية
	المبادلات الحرارية	زيادة حجم المبادل الحراري، أو استخدام التصميمات المتقدمة (أنابيب ذات قطر صغير أو مبادلات حرارية صغيرة)	9–29 في المائة	منخفضة
	تسخين علبة المرافق	تحسين تسخين علبة المرافق	9–11 في المائة	0
	-	كشف الأخطاء والتشخيص	حتى 30 في المائة	منخفضة

[47] شين ب. وعبد العزيز وشريثا س. و إلاتار أ.، 2017 "تحسين نموذجي لأجهزة تكييف الهواء المجمعة الموضوعة على السطح باستخدام مواد تبريد ذات قدرة منخفضة على إحداث الاحترار العالمي"، المجلة الدولية للتبريد، ISSN 0140-7007، متاحة على الموقع الإلكتروني: https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.10.028. Accessed 12 May 2018. حصل عليها في 12 مايو/ أيار 2018

[48] تتوافق المستويات القياسية للتجربة 1 و2 و3 و4 مع نسبة كفاءة الطاقة الموسمية التي تبلغ 14.5 و15.0 و16.0 و0.19 وحدة حرارية بريطانية/ساعة/وات على التوالي لأجهزة تكييف الهواء المصغرة بحمولة 2 طن. تم تعريف هذه "المستويات القياسية للتجربة" بشكل مختلف لمختلف فئات المنتجات. (المصدر: وزارة الطاقة 2016).

[49] شمل إجمالي الشحنات لعام 2015 جميع أنواع أجهزة تكييف الهواء المركزية وأنظمة المضخات الحرارية التي يتم شحنها في الولايات المتحدة الأمريكية.

نوع الجهاز	المكونات الأساسية	التدخلات الفنية	تحسين كفاءة استخدام الطاقة	التكاليف المرتبطة بها
التبريد التجاري	التحكم في ضغط المكثف	تقليل التحكم في ضغط الرأس (استبدال صمامات التمدد الثرموستاتي بصمامات التمدد الإلكترونية)	حتى 20 في المائة	منخفضة
	المضواغط	ضوابط متغيرة السرعة أو ضوابط متغيرة السعة فعالة	حتى 25 في المائة	متوسطة
	Auxiliary fans and pumps	ضوابط متغيرة السرعة للمراوح والمضخات المساعدة	حتى 10 في المائة	منخفضة
	Other controls	التذويب عند الطلب وضوابط ضغط الشفط المعدلة	حتى 10 في المائة	منخفضة
	Crankcase heating	تحسين تسخين علبة المرافق	9–11 في المائة	0

خامسا- الفوائد البيئية فيما يتعلق بمكافئ ثاني أكسيد الكربون

78- في حين رغم أن تعديل كيغالي يركز على مواد التبريد الموفرة للطاقة،[50] تواصل الصناعة بالتوازي جهودها لتحسين كفاءة استخدام الطاقة من خلال إعادة تصميم النظام وتقليل الحمل من خلال تصميم المبنى المحسّن. ستؤدي هذه الإجراءات إلى تقليل شحن مادة التبريد في أنظمة تكييف الهواء، وتقليل انبعاثات مادة التبريد.

تأثير كفاءة استخدام الطاقة من الانبعاثات غير المباشرة

79- توجد العديد من المنهجيات التي تقدر إجمالي الانبعاثات من أي نظام. الأكثر شيوعًا هو تأثير الاحترار الكلي المكافئ[51] والأداء المناخي لدورة الحياة الذي يحاول قياس مقدار التأثير الكلي للاحترار العالمي من خلال تقييم أنظمة التبريد وتكيف الهواء والمضخات الحرارية أثناء حياتها من "المهد إلى اللحد".

80- وتأتي أكبر إمكانية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة من التحسينات في التصميم والمكونات، التي يمكن أن تسفر عن تحسينات في الكفاءة[52] تتراوح بين 10 و 70 في المائة مقارنة بنسبة تتراوح بين 5 و 10 في المائة لمواد التبريد في معظم الحالات. ويتطلب حساب انبعاثات دورة الحياة على الصعيد القطري أو الإقليمي العديد من الخطوات والافتراضات، مثل عمر المنتج واختيار مادة التبريد وتسربها، التي تتجاوز اعتبارات الفوائد البيئية من كفاءة استخدام الطاقة. ويمكن أن تختلف الفوائد البيئية من كفاءة استخدام الطاقة بعامل 1000 حسب ساعات الاستخدام وعامل الانبعاثات في توليد الكهرباء.

81- يشمل حساب الفوائد البيئية لكفاءة استخدام الطاقة في أجهزة التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية فيما يتعلق بمكافئ ثاني أكسيد الكربون الخطوات الثلاث التالية:

(أ) تحديد نوع الجهاز (على سبيل المثال، مكيف هواء مجزأ بدون قنوات، قدرة تبريد تبلغ 5,3 كيلو وات)، وتحديد استهلاك الطاقة في وحدة النموذجي الأساسي كدالة في السوق الحالية في البلد أو الإقليم أو الوحدات المصنعة بواسطة مرفق معين، وتحديد تحسين كفاءة استخدام الطاقة الذي سيتم تقييمه؛

(ب) حساب وفورات الطاقة لنموذج عالي الكفاءة كدالة لاستهلاك الطاقة في الوحدة الأساسية وساعات الاستخدام. تختلف ساعات الاستخدام اختلافًا كبيرًا حسب البلد والمناخ والتطبيق؛ في بعض الحالات،

[50] هذا في سياق إزالة المواد الهيدروفلوروكربونية.

[51] في بعض الأحيان، قد يتم تبسيط حساب أثر الاحترار المكافئ الكلي من خلال إهمال التأثيرات الأوسع نطاقًا بما في ذلك تصنيع مادة التبريد والمعدات والتخلص من مادة التبريد والمعدات بعد إيقاف التشغيل. وقد يكون تأثير هذه المكونات صغيرًا.

[52] عندما يشار إلى تحسينات كفاءة استخدام الطاقة في هذا التقرير، نقارن الطاقة التي يستخدمها تصميم محسّن بتصميم أساسي. على سبيل المثال، إذا كان النظام ألف يستخدم 10 وحدات طاقة ويستخدم النظام باء 8 وحدات، يوجد تحسن في الكفاءة بنسبة 20 في المائة.

تحدد المعايير الوطنية ساعات الاستخدام كجزء من قياس كفاءة استخدام الطاقة (على سبيل المثال، يتم تعريف نسبة كفاءة استخدام الطاقة الموسمية في الهند باستخدام 1,600 ساعة من الاستخدام سنويًا). وقد يكون الأداء الفعلي للطاقة للمعدات المثبتة أقل من الكفاءة المصممة بسبب سوء التركيب أو الصيانة. ونظرًا لأن تحسين الكفاءة يتم مقارنته بوحدة الأساس، يفترض هذا النهج أن تدهور الأداء بسبب سوء التركيب أو الصيانة أو درجات الحرارة المرتفعة سيكون له تأثير مماثل على وحدة الأساس، لذلك يتم الحفاظ على توفير الطاقة النسبي. وفي حالة زيادة ساعات الاستخدام في حالة ارتفاع كفاءة الوحدة بسبب انخفاض تكاليف فاتورة الكهرباء، هو شكل من أشكال سلوك رد الفعل التلقائي، ستقلل وفورات الطاقة بسبب تأثير " رد الفعل التلقائي"؛

(ج) تحويل وفورات الطاقة إلى مكافئ ثاني أكسيد الكربون عن طريق ضربها في معامل انبعاث الاستخدام النهائي لتوليد الكهرباء. ويتم تشغيل أجهزة تكييف الهواء خلال أكثر الأوقات حرارة في اليوم، وتتزامن مع ذروة الطلب على الكهرباء؛ لهذا السبب، قد يكون استخدام عوامل "الانبعاثات الهامشية"، التي تمثل كثافة الكربون للمولدات التي تولد طاقة لتلبية الطلب الأقصى، أكثر دقة. وما إذا كانت كثافة الكربون للتوليد الهامشي أعلى أو أقل من عامل الانبعاثات السنوي تعتمد على تكوين الشبكة في البلد. ومع ذلك، بإضافة المزيد من الطاقة المتجددة، يكون الاتجاه نحو انخفاض عوامل الانبعاثات الهامشية.

82- في قطاع التبريد المنزلي، تتراوح الوفورات بسبب كفاءة استخدام الأجهزة للطاقة من 55 في المائة إلى 70 في المائة تقريبًا مع التكنولوجيات المتاحة حاليًا. ومن المفترض في هذه الحالة أن الثلاجات تعمل 24 ساعة يوميًا وأن ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة لا تؤثر على أداء الأجهزة، لأنها توضع داخل بيئات ذات درجة حرارة التي يتم التحكم فيها.

83- وفي حالة التبريد التجاري، توجد إمكانات عالية جداً لتوفير الطاقة. في بعض الحالات، كما هو الحال في أجهزة التجميد والتبريد مفتوحة الأبواب مقابل المغلقة، يمكن أن تتراوح الوفورات بين 70 و 80 في المائة. وفي حالة مجمدات الآيس كريم، تم قياس استهلاك الطاقة عند 25 درجة مئوية و 31 درجة مئوية. وزاد استهلاك الطاقة بنسبة 13 في المائة في ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة. ومع ذلك، كان استهلاك الطاقة لا يزال أقل كثيرا من الفريزر الرأسي غير الكفء.
ويدل هذا على أنه في ظروف ارتفاع درجة الحرارة في البيئة المحيطة أيضًا، يعد اختيار الجهاز أمرًا بالغ الأهمية.

84- يعرض الجدول 9 ملخصًا لتوفير الطاقة في وحدة كيلو وات للساعة (kWh) سنويًا لساعات محددة من استخدام أجهزة تكييف هواء الغرف وكفاءة استخدام الطاقة عند مستوى كفاءة استخدام الطاقة الخاص بالمنتج المحدد (مستوى كفاءة أعلى عند 10- 20 بالمائة وأعلى مستوى كفاءة هو 40- 50 بالمائة مقارنة باستخدام الطاقة في الوحدة الأساسية).

الجدول 8- توفير الطاقة لوحدة تكييف هواء الغرف

الحالة*	تحديد استهلاك الطاقة في وحدة خط الأساس الخاصة بالمنتج وتحسين الكفاءة					حساب توفير الطاقة لكل وحدة لنماذج كفء	
	ساعات الاستخدام/ سنة	نوع الوحدة/ سعة التبريد (كيلو وات)	استخدام وحدات أجهزة تكييف الهواء الأساسية (كيلو وات للساعة/سنة)	كفاءة استخدام الطاقة الأعلى	أعلى كفاءة لاستخدام الطاقة	كفاءة استخدام الطاقة الأعلى (كيلو وات للساعة/سنة)	أعلى كفاءة استخدام الطاقة (كيلو وات للساعة/سنة)
حالة منخفضة جدا (أ) (ساعات منخفضة للغاية، عامل انبعاث كهربائي منخفض للغاية)	350	وحدة مجزأة/ 3-4 كيلو وات	266	20 في المائة	50 في المائة	53	133
حالة منخفضة (ب) (ساعات منخفضة، عامل انبعاث كهربائي منخفض)	1,200	وحدة مجزأة/ 3,5 كيلو وات	1,355	20 في المائة	50 في المائة	271	678
ساعات كثيرة (ج) (ساعات كثيرة، عامل انبعاث كهربائي متوسط)	2,880	وحدة مجزأة/ 3,5 كيلو وات	2,965	10 في المائة	40 في المائة	297	1186
عامل انبعاث مرتفع (د) (ساعات متوسطة، عامل انبعاث كهربائي مرتفع)	1,600	وحدة مجزأة/ 5,275 كيلو وات	1,300	10 في المائة	40 في المائة	130	520
أعلى حالة (هـ) (ساعات كثيرة، عامل انبعاث كهربائي مرتفع)	2,880	وحدة مجزأة/ 5,275 كيلو وات	5,759	25 في المائة	40 في المائة	1,440	2,304

(*) الحالات الخمس التي تمثل المواقف التي يمكن العثور عليها في السيناريو الفعلي للمناطق المناخية وعوامل الانبعاثات في جميع أنحاء العالم.[53]
(أ) ساعات الاستخدام للتبريد في أوروبا (Topten.eu)؛ استخدام وحدة الطاقة من Topten.eu بكفاءة (266 كيلو وات للساعة/ سنة) وأعلى كفاءة (122 كيلو وات للساعة/ السنة).
(ب) ساعات من الاستخدام واستهلاك الطاقة لوحدة مكيف الهواء الأساسية من شركة المتحدة للتقييم القطري للكفاءة للأرجنتين (ديسمبر/ كانون الأول 2016)؛ والنسبة المئوية للتحسن على أساس Topten.eu.
(ج) ساعات الاستخدام واستهلاك الطاقة في وحدة مكيف الهواء الأساسية من شركة المتحدة للتقييم القطري للكفاءة لتايلند (ديسمبر/ كانون الأول 2016)؛ والنسبة المئوية للتحسن على أساس أمثلة 3 نجوم و5 نجوم من مكتب كفاءة استخدام الطاقة في الهند؛ وعامل الانبعاث لتايلاند.
(د) ساعات الاستخدام واستهلاك الطاقة لوحدة مكيف الهواء الأساسية من معيار نسبة كفاءة الطاقة الموسمية الهندية ومستوى النجمة الواحدة من مكتب كفاءة استخدام الطاقة؛ والنسبة المئوية للتحسن على أساس 3 نجوم و 5 نجوم من مكتب كفاءة استخدام الطاقة في الهند أمثلة.
(هـ) ساعات الاستخدام 8 ساعات لمدة 360 يومًا؛ وحدة أساسية بقدرة 2,6 وات/ وات نسبة كفاءة الطاقة تم تحويلها إلى استهلاك للطاقة عن طريق تقسيم السعة على نسبة كفاءة الطاقة في عدد ساعات الاستخدام؛ المتوسط = 3,5 نسبة كفاءة الطاقة والأعلى = 4,5 نسبة كفاءة الطاقة.

85- وفي حالة المضخات الحرارية، يرد في الجدول 9 وفورات الطاقة لوحدة مضخة الحرارة في أربع حالات تمثل المواقف التي يمكن العثور عليها في السيناريو الفعلي للمناطق المناخية في جميع أنحاء العالم.

[53] يرد تأثير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي.

الجدول 9- وفورات الطاقة لوحدة مضخة حرارية

الحالة*	استخدام الوحدة للطاقة								تحسين كفاءة استخدام الطاقة (%)
	حالة أساسية				أفضل تكنولوجيا متاحة				
	مضخة حرارية (GJ)	دعم كهربائي (GJ)	المجموع (GJ)	المجموع (كيلو وات للساعة/ سنة)	مضخة حرارية (GJ)	دعم كهربائي (GJ)	المجموع (GJ)	المجموع (كيلو وات للساعة/ سنة)	
مناخ بارد وعامل انبعاث منخفض	12.31	7.97	20.28	5,633	12.62	2.6	15.22	4,228	25
مناخ بارد وعامل انبعاث متوسط	12.31	7.97	20.28	5,633	12.62	2.6	15.22	4,228	25
مناخ دافئ وعامل انبعاث متوسط	3.23	0.336	3.566	991	2.95	0.104	3.054	848	14
مناخ معتدل وعامل انبعاث مرتفع	8.08	2.48	10.56	2,933	6.42	0.4	6.82	1,894	35

(*) الحالات الأربع التي تمثل المواقف التي يمكن العثور عليها في السيناريو الفعلي للمناطق المناخية وعوامل الانبعاثات في جميع أنحاء العالم.[54]

86- في حالة تكييف الهواء المتنقل، استنادًا إلى تقرير عن بعض معايير الاقتصاد في استهلاك الوقود لسيارات الركاب التي تشمل اعتمادات لتكييف الهواء عالي الكفاءة، يتم تحديد تأثير انبعاثات غازات الدفيئة كمؤشر للفوائد المحتملة والنطاق من 0,9 جرام مكافئ ثاني أكسيد الكربون/ كم إلى 6,1 جرام مكافئ ثاني أكسيد الكربون / كم.

سادسا- مشروعات توضيحية لإدخال تكنولوجيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي ومشروعات استثمارية مستقلة للهيدروفلوروكربون

87- في اجتماعاتها الرابع والسبعين والخامس والسبعين والسادس والسبعين، وافقت اللجنة التنفيذية على ثلاث دراسات جدوى لتبريد المناطق)[55] و 17 مشروعاً لتوضيح تكنولوجيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي عملاً بالمقرر 5/25 والمقرر 40/72.[56]

88- يلخص الجدول 10 المعلومات المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة على أساس النتائج المتاحة من المشروعات الإيضاحية الموافق عليها وفقا للمقرر 40/72، باستثناء مشروعات قطاع خدمات التبريد.

[54] يرد تأثير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي. وتتعلق المعلومات الواردة في جيجا جول (GJ) بالاستهلاك السنوي.

[55] الجمهورية الدومنيكية ومصر والكويت.

[56] تشمل: سبع مشروعات في قطاع التبريد وتكييف الهواء والتجميع (الصين وكولومبيا وكوستاريكا والكويت والمملكة العربية السعودية (مشروعان)، ومشروع عالمي (الأرجنتين وتونس) ومشروع إقليمي (غرب آسيا)؛ وست مشروعات في قطاع الرغوة (كولومبيا ومصر والمغرب والمملكة العربية السعودية وجنوب إفريقيا وتايلاند)، وثلاث في قطاع خدمة التبريد (جزر المالديف ومنطقة أوروبا وآسيا الوسطى ومشروع عالمي (منطقتي شرق إفريقيا البحر الكاريبي).

الجدول 10- دراسات الجدوى والمشروعات الإيضاحية لإدخال تكنولوجيات منخفضة القدرة على إحداث الاحترار العالمي

البلد	عنوان المشروع (الرمز)	التمويل (دولار أمريكي)*	الاجتماع	تحديث بشأن التقدم المحرز في التنفيذ
القطاع الفرعي للتبريد وتكييف الهواء والتجميع				
الصين	مشروع توضيحي لوحدة ضغط برغي الأمونيوم القابلة للتحويل ذات التردد شبه المحكم في صناعة التبريد الصناعي والتجاري في شركة فوجيان سنومان المحدودة (CPR/REF/76/DEM/573)	1,026,815	82	ذكر التقرير أن معامل أداء[57] النظام الجديد الذي صمم في المشروع الذي يتمتع بقدرة تبريد قدرها 56,7 كيلو وات و 167,1 كيلو وات و 216,3 كيلو وات هو 1,57 و 1,63 و 2,94 على التوالي.
كولومبيا	توضيح المادة R-290 (البروبان) كغاز تبريد بديل في تصنيع أجهزة تكييف الهواء التجارية في شركة Industrias Thermotar ltd (COL/REF/75/DEM/97)	500,000	81	يذكر التقرير أن جهاز الوحدة المجزأة 5 R-290 TR[58] (ضاغط التمرير R-290) يستهلك طاقة أقل بنسبة 13.1٪ (كيلووات للساعة) من وحدة R-410A المماثلة.
كوستاريكا	عرض توضيحي لتطبيق نظام التبريد بالأمونيا / ثاني أكسيد الكربون بدلاً من الهيدروكلوروفلوروكربون-22 للمنتج بحجم متوسط ومتجر البيع بالتجزئة لشركة Premezclas Industriales S.A. (COS/REF/76/DEM/55)	524,000	82	ذكر التقرير النهائي أن مقارنة متوسط الفواتير الشهرية لشهر أكتوبر / نوفمبر 2017 (قبل تثبيت نظام التبريد الجديد) ويناير / فبراير 2018 (بعد تثبيت نظام التبريد الجديد) يدل على أن متوسط الفواتير الشهرية انخفض بنسبة 10.23 في المائة. وكان من المتوقع أن ينمو هذا الانخفاض في الاستهلاك بعد استقرار النظام وتحسين ممارسات التشغيل إلى حوالي 20 في المائة.
المملكة العربية السعودية	مشروع توضيحي لدى مصنعي أجهزة تكييف الهواء لتطوير مكيفات الهواء بالنوافذ والمجمعة باستخدام مواد تبريد ذات قدرة منخفضة على إحداث الاحترار العالمي (SAU/REF/76/DEM/29)	1,300,000	83	أظهرت نتائج المشروعات الإيضاحية أن معدل كفاءة الطاقة للهيدروفلوروكربون-32 أعلى والمادة R-290 مقارنة بالمادة R-410A عند 52 درجة مئوية؛ ينخفض معدل كفاءة الطاقة لجميع غازات التبريد عندما ترتفع درجة الحرارة في الهواء الطلق من 35 إلى 52 درجة مئوية.
المملكة العربية السعودية	مشروع توضيحي عن تعزيز مواد التبريد ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي المعتمدة على الهيدروفلوروأوليفين لقطاع تكييف الهواء في درجات الحرارة المحيطة العالية (SAU/REF/76/DEM/28)	796,400	غير متوفر	من المتوقع تقديم التقرير النهائي إلى الاجتماع الخامس والثمانين
الترويج الإقليمي لغازات التبريد ذات القدرة المنخفضة على إحداث الاحترار العالمي لقطاعات تكييف الهواء في البلدان ذات درجات الحرارة المحيطة العالية – المرحلة الثانية (PRAHA-II)	تعزيز غازات التبريد البديلة في تكييف الهواء للبلدان ذوي درجات الحرارة العالية في البيئات المحيطة في غرب آسيا (PRAHA-II) (ASP/REF/76/DEM/59 and 60)	700,000	غير متوفر	من المتوقع تقديم التقرير النهائي إلى الاجتماع الرابع والثمانين
قطاع الرغوة				
كولومبيا	مشروع توضيحي للتحقق من صحة استخدام الهيدروفلوروأوليفينات للألواح المتصلة في أطراف المادة 5 من خلال تطوير تركيبات فعالة من حيث التكلفة (COL/FOA/76/DEM/100)	248,380	81	لم يتم الإبلاغ مباشرة عن النتائج المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة؛ ومع ذلك، أظهرت النتائج أن مستويات قابلية للتوصيل الحراري للتركيبات التي تستخدم عامل الإرغاء المشارك الهيدروفلوروأوليفين-1233zd (E) و الهيدروفلوروأوليفين 1336mzz

[57] COP - معامل الأداء.
[58] TR - طن تبريد.

البلد	عنوان المشروع (الرمز)	التمويل (دولار أمريكي)*	الاجتماع	تحديث بشأن التقدم المحرز في التنفيذ
القطاع الفرعي للتبريد وتكييف الهواء والتجميع				
				(Z)) مع الماء كانت مماثلة للتركيبات القائمة على الهيدروكلوروفلوروكربون-141ب.
مصر	توضيح خيارات منخفضة التكلفة للتحويل إلى تكنولوجيات غير مستنفدة للأوزون في رغاوي البولي يوريثان عند صغار المستخدمين (EGY/FOA/76/DEM/129)	295,000	83	لم يقدم التقرير معلومات عن كفاءة استخدام الطاقة في المعدات. تم تقديم تقرير محدث إلى الاجتماع الرابع والثمانين.
المغرب	توضيح استخدام تكنولوجيا رغوة البنتان منخفضة التكلفة للتحويل إلى تكنولوجيات غير مستنفدة للأوزون في رغاوي البولي يوريثان في المؤسسات الصغيرة والمتوسطة الحجم (MOR/FOA/75/DEM/74)	280,500	غير متوفر	
المملكة العربية السعودية	مشروع توضيحي لإزالة المواد الهيدروكلوروفلوروكربونية باستخدام الهيدروفلوروأوليفين كعامل إرغاء للرغوة في تطبيقات رغوة الرش في درجات الحرارة العالية في البيئة المحيطة (SAU/FOA/76/DEM/27)	96,250	غير متوفر	من المتوقع تقديم التقرير النهائي إلى الاجتماع الرابع والثمانين
جنوب أفريقيا	مشروع توضيحي بشأن المزايا التقنية والاقتصادية للحقن بمساعدة الفراغ في مصنع الألواح المتقطعة الذي تم تعديله من الهيدروكلوروفلوروكربون-141ب إلى البنتان (SOA/FOA/76/DEM/09)	222,200	81	لم يتم الإبلاغ مباشرة عن النتائج المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة؛ ومع ذلك، تظهر النتائج مستويات توصيل حراري مماثلة للهيدرةكلوروفلوروكربون141ب.
تايلاند	مشروع توضيحي في شركات نظم الرغوة لصياغة البوليول المخلوط مسبقًا لتطبيقات رغاوي البولي يوريثان بالرش باستخدام عامل إرغاء منخفض القدرة على إحداث الاحترار العالمي (THA/FOA/76/DEM/168)	352,550	83	لم يتم الإبلاغ مباشرة عن النتائج المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة؛ ومع ذلك، أظهرت النتائج أن مستويات قابلية التوصيل الحراري للتركيبات التي تستخدم عامل الإرغاء المشارك الهيدروفلوروأوليفين-1233zd (E) و الهيدروفلوروأوليفين 1336mzz (Z) مع الماء كانت لها قابلية توصيل حراري أعلى على الهامش. ويمكن أن يتغير هذا مع تحسينات التركيبات.
دراسة جدوى لتبريد المناطق				
الجمهورية الدومنيكية	دراسة جدوى لتبريد المناطق في بونتا كانا (DOM/REF/74/TAS/57)	91,743	81	كانت كفاءة استخدام الطاقة فائدة رئيسية من المشروع والمكاسب الفعلية في كفاءة استخدام الطاقة غير متوفرة. **
مصر	دراسة جدوى لتبريد المناطق في القاهرة الجديدة (EGY/REF/75/TAS/127 and 128)	27,223	82	تحتوي التقارير على الجدوى الفنية والاقتصادية لتكوينات تبريد المناطق وحسابات الإرجاع. المكاسب الفعلية في كفاءة استخدام الطاقة غير متوفرة. **
الكويت	دراسة جدوى تقارن ثلاث تكنولوجيات من نوع آخر لاستخدامها في تكييف الهواء المركزي (KUW/REF/75/TAS/28 and 29)	27,223	82	تحتوي التقارير على الجدوى الفنية الاقتصادية لترتيبات تبريد المناطق وحسابات الإرجاع. والمكاسب الفعلية في كفاءة استخدام الطاقة غير متوفرة. **

* لا تشمل هذه القيمة أموال إعداد المشروع وتكلفة دعم الوكالة.

** تذكر تقرير فرقة العمل التابعة لفريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي أن أنظمة تبريد المناطق تقلل من الطلب على الطاقة بنسبة 55 إلى 62 في المائة مقارنة بأنظمة تكييف الهواء التقليدية وتستهلك 40 إلى 50 في المائة طاقة أقل

89- يسرد الجدول11 المشروعات الاستثمارية العشر المستقلة للهيدروفلوروكربون المعتمدة حتى الآن. وعلى الرغم من أن التقرير الخاص بأداء كفاءة استخدام الطاقة للمعدات المعاد تصميمها مطلوب في التقرير النهائي، إلا أن نتائج هذه المشروعات غير متوفرة حتى الآن.

الجدول 11- المشروعات الاستثمارية المستقلة للهيدروفلوروكربون المعتمدة حتى الآن

البلد	الوكالة	عنوان المشروع
الأرجنتين	اليونيدو	مشروع تحويل لاستبدال الهيدروفلوروكربون- 134a إلى غاز التبريد القائم على إيزوبيوتان (R-600a) / بروبان (R-290) في صناعة معدات التبريد المنزلية والتجارية في شركات بريكيت وبومباي ومابي - كيرونين
بنغلاديش	اليونديبي	التحويل من الهيدروفلوروكربون- 134a إلى أيزوبوتان كغاز تبريد في تصنيع الثلاجات المنزلية ومن الضاغط الترددي للهيدروفلوروكربون- 134a إلى الضاغط الموفر للطاقة (أيزوبيوتان) في شركة والتون هاي – تك الصناعية المحدودة
الصين	اليونديبي	التحويل من المادة C5 + الهيدروفلوروكربون- 245fa إلى المادة C5 + الهيدروفلوروأوليفينات في إحدى شركات تصنيع الثلاجات المنزلية (Hisense Kelon)
الجمهورية الدومنيكية	اليونديبي / كندا	تحويل خط تصنيع الثلاجات التجارية في شركة فاركو، من الهيدروفلوروكربون- 134a والمادة R-404A إلى البروبان (R-290) كغاز تبريد
الأردن	اليونيدو	تحويل منشأت تصنيع وحدات تكييف الهواء الكبيرة ذات السقف الوحدوي التجارية التي تصل قدرتها إلى 400 كيلووات من المواد الهيدروفلوروكربونية (R134a و R-407C و R-410A) إلى البروبان R290 كغاز تبريد في شركة Petra Engineering Industries Co.
لبنان	اليونيدو	التحويل من الهيدروفلوروكربون- 134a و الهيدروفلوروكربون- 404A إلى المادتين -R 600a و R-290 في التبريد المنزلي في شركة Lematic Industries
المكسيك	اليونيدو	تحويل صناعة التبريد التجاري في منشأتين من استخدام الهيدروفلوروكربون- 134a والمادة R-404A كغازات تبريد إلى البروبان (R 290) والإيزوبوتان (R-600a) في شركة Imbera
المكسيك	اليونديبي / كندا	تحويل مرفق تصنيع التبريد المحلي من الهيدروفلوروكربون- 134a إلى أيزوبيوتان كغاز تبريد وتحويل منشأة تصنيع الضواغط من المعتمدة على الهيدروفلوروكربون- 134a إلى أيزوبيوتان في شركة Mabe Mexico
تايلند	البنك الدولي للإنشاء والتعمير	التحويل من الهيدروفلوروكربون إلى البروبان (R-290) والإيزوبوتين (R-600a) كغازي تبريد في تصنيع أجهزة التبريد التجارية في شركة Pattana Intercool Co.
زمبابوي	اليونديبي / فرنسا	التحويل من الهيدروفلوروكربون- 134a إلى الأيزوبوتان في تصنيع الثلاجات المنزلية في شركة كابري

التوصية

90- قد ترغب اللجنة التنفيذية في النظر في تحديث ملخص تقرير فريق التكنولوجيا والتقييم الاقتصادي عن المسائل المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة فيما يخص المسائل المحددة في المقرر 83/82 (هـ) (المقرر64/83 (و)) الوارد في الوثيقة UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/69 أثناء مداولاتها المتعلقة بطرق تفعيل الفقرة 22 من المقرر 2/XXVIII، والفقرتين 5 و 6 من المقرر 5/XXX.

المرفق الأول

مسرد المصطلحات المستخدمة في هذه الوثيقة

APF: عامل الأداء السنوي (انظر نسبة كفاءة الطاقة الموسمية)

Coefficient of performance (COP) وأحيانا **CP** أو **CoP**: معامل الأداء، بالنسبة لمضخة التدفئة أو الثلاجة أو نظام تكييف الهواء، هي نسبة من التدفئة أو التبريد المفيدة مقدمة للعمل اللازم. تعادل معاملات الأداء العالية انخفاض تكاليف التشغيل.

Cooling capacity: قدرة التبريد: مقياس لقدرة النظام على إزالة الحرارة. وتقاس بالكيلو وات أو وحدة حرارية بريطانية/ ساعة، أو طن التبريد، حيث أن 1 طن تبريد = 3.5 كيلو وات = 12,000 وحدة حرارية/ ساعة.

Cooling/heating load: حمل التبريد / التدفئة: مقدار الطاقة اللازمة للتسخين أو التبريد إلى مستوى الخدمة المطلوب. وتحسين العزل في المبنى هو استراتيجية لتقليل حمل التدفئة والتبريد مع توفير نفس المستوى من الراحة للساكن.

Coefficient of Performance (COP): معامل الأداء: يعرف معامل الأداء بأنه النسبة بين قدرة التبريد والطاقة التي يستهلكها النظام. ويستخدم معامل الأداء أيضًا للمضخات الحرارية ويعرف في هذه الحالة بأنه النسبة بين قدرة التدفئة والطاقة التي يستهلكها النظام.

CSPF: عامل أداء التبريد الموسمي (انظر نسبة كفاءة الطاقة الموسمية).

Design efficiency: كفاءة التصميم: أداء الطاقة للمعدات حسبما صممت أو شحنت، مثل كفاءة لوحة التهوية.

Energy Efficiency (EE): كفاءة استخدام الطاقة: تعد كفاءة استخدام الطاقة سمة من سمات الجهاز أو العملية، وقد تكون عالية أو منخفضة.

Energy Efficiency Ratio (EER): نسبة كفاءة استخدام الطاقة: هي نسبة نتاج التبريد مقسومة على التزويد بالطاقة الكهربائية عند قياسها عند التحميل الكامل (أي، عند أقصى سعة تبريد أو نقطة التصميم) وتقاس بوات/ وات (W / W) أو وحدة حرارية بريطانية/ ساعة/ وات (1 وات = 3.412 وحدة حرارية بريطانية/ ساعة).

Energy performance: أداء الطاقة: مقدار الطاقة الذي يستهلكه جهاز أو نظام لأداء مستوى معين من الخدمة. وتحسينات أداء الطاقة المشار إليها في هذا التقرير، تقارن الطاقة المستخدمة بواسطة تصميم محسّن مع تصميم أساسي. على سبيل المثال، إذا كان النظام ألف يستخدم 10 وحدات طاقة ويستخدم النظام باء 8 وحدات، يوجد تحسن في الكفاءة بنسبة 20 في المائة.

HSPF: عامل أداء التسخين الموسمي: (انظر نسبة كفاءة الطاقة الموسمية)

Installed efficiency: الكفاءة الموضوعة: أداء طاقة المعدات حسبما ركب.

ISEER: نسبة كفاءة استخدام الطاقة الموسمية الهندية.

Kilowatthour (kWh): كيلو وات للساعة: مقياس الكهرباء الذي يُعرَّف كوحدة عمل أو طاقة، تُقاس بأنه 1 كيلو وات (1,000 وات) من الطاقة المستهلكة لمدة ساعة واحدة. واحد كيلو وات للساعة يعادل 3,412 وحدة حرارية بريطانية أو 3,6 ميجاجول.

Manufacturing cost: تكلفة التصنيع: تكلفة تصنيع المعدات.
Million tonnes oil equivalent (Mtoe): مليون طن مكافئ نفط 1 مليون طن مكافئ نفط = 11,63 مليار كيلو وات ساعة.

Nominal design point: نقطة التصميم الاسمية: تمثل مجموعة الشروط (مثل درجات الحرارة بالداخل والخارج) المستخدمة لتصميم النظام

Operating cost: تكلفة التشغيل: التكلفة التي يتحملها المستخدم لتشغيل المعدات.

Part-load operation: عملية التحميل الجزئي: حالة تحدث عندما يتعين على النظام مواجهة حمولة أقل من الاسمية (تستخدم الشروط الاسمية لتصميم النظام). وتعمل أنظمة التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية عادةً في ظروف التحميل الجزئي لمعظم أجزاء دورة حياتها.

Peak Load: حمل الذروة: أعلى طلب للكهرباء يحدث خلال فترة معينة على شبكة كهربائية.

Percent energy efficiency improvement: النسبة المئوية لتحسين كفاءة استخدام الطاقة: تغير النسبة المئوية في استهلاك الطاقة لوحدة ذات كفاءة مقارنة بوحدة أساسية.

Refrigeration Ton (RT): طن تبريد: مقياس سعة التبريد، حيث يشير 1 طن إلى 12,000 وحدة حرارية بريطانية، أي ما يعادل الطاقة اللازمة لتجميد 2000 رطل من الماء خلال 24 ساعة. 1 طن تبريد = 3.52 كيلو وات.

Retail price: سعر التجزئة: سعر شراء المعدات.

Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER): نسبة كفاءة استخدام الطاقة الموسمية: نسبة خرج التبريد مقسومة على مدخلات الطاقة الكهربائية، وتقاس بالحمولة الكاملة والجزئية، وموزونة لتمثيل الأداء الكلي للجهاز للطقس خلال موسم تبريد نموذجي في كل بلد معين. ويوجد اسم بديل لنسبة كفاءة استخدام الطاقة الموسمية هو عامل الأداء الموسمي للتبريد (**Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF)**). ويستخدم تسخين عامل الأداء الموسمي **(Heating Seasonal Performance Factor) (HSPF)** لوضع التدفئة. وعامل الأداء السنوي **(Annual Performance Factor (APF)** هو مقياس يستخدم لأجهزة تكييف الهواء في غرفة المضخة الحرارية القابلة للانعكاس التي تسخن وتبرد.

Unit energy consumption: استهلاك الوحدة للطاقة: مقدار الطاقة التي تستهلكها وحدة من المعدات، عادة على مدى سنة واحدة.

Variable speed drives (VSD): محركات ذات سرعة متغيرة: نوع من وحدة التحكم في المحركات التي تدير محركًا كهربائيًا عن طريق تغيير التردد والجهد المقدمين للمحرك الكهربائي، معروفة باسم العاكس أيضًا.

Annex II

AVAILABILITY OF AIR-CONDITIONERS OPERATING WITH DIFFERENT REFRIGERANTS AND AT DIFFERENT EE LEVELS

Table 1: Availability of technology options for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - Low Tier

	Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP
Low Tier Energy Efficiency Meeting MEPS	**Australia & New Zealand (ANZ)**	Aus. & NZ: Not Available	**45% of the market is R-410A in the low and mid-tier efficiency ranges**	**53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers 1% of the market is HC-290 in the low tier**
	Oceania & PIC	**Around 5% of the market**	**Papua New Guinea / Fiji/ Solomon Islands: R-410A imports from ANZ in the low and mid tiers**	**HFC-32 becoming prevalent in line with trend in ANZ**
	Japan	Japan: Not Available	**Japan: Units available for export only Regulation does not support equipment development with high-GWP HFCs**	**Japan: HFC-32 units are prevalent**
	Korea	Korea: Not Available	**Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF**	**Korea: HFC-32**
	China	**China: Less than 20% equipment with HCFCs**	**China: about 60% of equipment are High-GWP HFCs**	**China: HFC-32 and HC-290 units are available**
	Thailand	**Locally manufactured**	**R-410A locally manufactured with inverter and non-inverter**	HFC-32 units locally manufactured in small quantities
	South East Asia	**Locally manufactured in some countries**	**Indonesia: ~50 of the market is R-410A R-410A fixed speed locally manufactured in some countries or imported MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia**	Malaysia: manufacturing of compressors for HFC-32 Vietnam and Indonesia: HFC-32 units with inverter
	India	**India: Available from local manufacturers. Import is not allowed.**	India: Not available in lower efficiencies	**India: HFC-32 and HC-290 units available**
	Central Asia	**Locally manufactured in some countries**	**Locally manufactured in some countries**	Available for import
	Gulf Cooperation Council	**Available as locally manufactured or imported**	**HAT: R-410A with fixed speed and variable speed**	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable result Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications

	Middle East & North Africa	**Available as locally manufactured or imported**	**Available as locally manufactured or imported**	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started Morocco*: HFC-32 inverter is available for import through Buyers' club
	Central Africa	**Available in most countries**	**R-410A units fixed speed and inverter**	Ghana: HC-290 units imported into the country in a program supported by GIZ Other countries: HFC-32 units with inverter available for import*
	Southern Africa	**Available as locally manufactured or imported**	**R-410A units fixed speed and inverter**	HFC-32 units
	Europe		**EU: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF**	**EU: both HFC-32 and HC-290**
	North America		**N. America: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF**	*N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends*
	Central America	**Available in most countries**	**R-410A available**	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer Other countries: HFC-32 available to import Grenada: HC-290 available to import through a GIZ program
	South America	**Available in most countries**	**S. America: R-410A both fixed speed and variable speed** **Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter**	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019 HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import

Table 2: Availability of Technology for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - Mid Tier

	Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP
Mid-Tier Energy Efficiency up to 10% above Minimum MEPS	**Australia & New Zealand**	Aus. & NZ: Not Available	**45% of the market is R-410A in the low and mid-tier efficiency ranges**	**53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers**
	Oceania & PIC	**Around 5% of the market**	**Papua New Guinea / Fiji/ Solomon Islands: R-410A imports from ANZ in the low and mid tiers**	**HFC-32 becoming prevalent in line with trend in ANZ**
	Japan	Japan: Not Available	Japan: Not Available	**Japan: "The top runner program" requires weighted average APF higher than the standard value. (for both domestic and commercial air-conditioners)**
	Korea	Korea: Not Available	**Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF**	**Korea: HFC-32 units with inverter**
	China	**China: Less than 20% equipment with HCFCs**	**China: about 60% of equipment are High-GWP HFCs**	China: Both HC-290 and HFC-32 inverter that have higher APF than the standard value are introduced
	Thailand	**Thailand: Locally manufactured**	**Thailand: R-410A locally manufactured**	**Thailand: 70% of the locally manufactured units are HFC-32 units with inverter**
	South East Asia	**Locally manufactured in some countries**	**Indonesia: 5% of the market is R-410A inverter R-410A units are locally manufactured in some countries or imported MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia**	**Indonesia: ~ 50% of the market is HFC-32 units MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia**
	India	**India: Available from local manufacturers. Import is not allowed.**	**India: R-410A widely available up to 3 Stars**	**India: HFC-32 and HC-290 available up to 5 Star**
	Central Asia	**Locally manufactured in some countries**	**Locally manufactured in some countries**	Available for import
	Gulf Cooperation Council	**Available as locally manufactured or imported**	**R-410A with inverter**	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable results Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications
	Middle East & North Africa	**Available as locally manufactured or imported**	**Available as locally manufactured or imported**	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started Morocco: HFC-32 inverter is available for import
	Central Africa	Not Available	**R-410A units with inverter**	HFC-32 units in some markets
	Southern Africa	Not Available	**R-410A units with inverter South Africa: 75% of the market is inverter**	HFC-32 units in some markets
	Europe	Not Available	**EU: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF**	**EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits VRF - EU Eco-Design,**

	North America	Not Available	**N. America: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF**	*N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends*
	Central America	**Available in most countries**	**R-410A available**	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer
	South America	**Available in most countries**	**S. America: R-410A both fixed speed and variable speed** **Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter**	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019 HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import

Table 3: Availability of Technology for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - High Tier

	Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP
High Tier Energy Efficiency more than 10% above Minimum MEPS	**Australia & New Zealand**	Not Available	Not Available	**53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers**
	Oceania & PIC		Not Available	Available for import
	Japan		Japan: Not Available	**Japan: "The top runner program" requires weighted average APF higher than the standard value (for both domestic and commercial air-conditioners)**
	Korea		**Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF**	**HFC-32 units with inverter**
	China		**China: "The top runner program" requires weighted average APF higher than standard value, about 1% of market**	China: Both HC-290 and HFC-32 inverter that have higher APF than the standard value are introduced
	Thailand		**R-410A locally manufactured mainly inverter type Separated MEPS for inverter and non-inverter**	**HFC-32 units with inverter Separated MEPS for inverter and non-inverter**
	South East Asia		**R-410A locally manufactured in some countries or imported. MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia**	**Indonesia, Philippines, and Vietnam: HFC-32 units with inverter**
	India		**India: R-410A widely available in inverter 3 to 5 star**	**India: HFC-32 and HC-290 available up to 5 Star**
	Central Asia		Available for import	Available for import
	Gulf Cooperation Council		HAT: High GWP HFCs Could not meet higher efficiency with conventional design, however, MEPS >10%, (EER 12.7) can be achieved with microchannel heat exchangers	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable result Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications
	Middle East & North Africa		**Available as locally manufactured or imported**	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started. Morocco: HFC-32 inverter is available for import
	Central Africa		**R-410A units with inverter**	HFC-32 units in some markets
	Southern Africa		**R-410A units with inverter South Africa: 75% of the market is inverter**	HFC-32 units in some markets
	Europe		**EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits, VRF- Eco-Design**	**EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits VRF - EU Ecodesign**
	North America		**N. America: Cent A/C 2-speed, Mini-splits, VRF with R-410A units**	*N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends*
	Central America		**R-410A available**	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer
	South America		**S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter**	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019. HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import

Annex III

INFORMATION ON AVAILABILITY, COST AND ENERGY EFFICIENCY (EE) IMPACT AND APPLICATION TO CLIMATE REGION FOR DIFFERENT COMPONENTS RELATED TO EE FOR MEDIUM- AND LOW-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS FOR AIR-CONDITIONERS AND SELF-CONTAINED COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT

Part 1: Air conditioners

Component	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Remarks	Necessary components	Max potential improvement	Incremental cost for RAC unit	Applicability to climate region		
								LAT	MAT	HAT
Compressors										
Higher efficiency	X	Y	Y	Mostly rotary compressor				X	X	X
-Inverter driven	X	Y	Y	Mostly used for rotary	Inverter, dedicated compressor	20% to 30%	20%	X	X	X
- two stage compression	X	Y	L	Very limited availability		10%	10% – 20%	X	X	X
- motor efficiency controllers		Y	L	Standard		same	Same	X	X	X
Energy efficient fan motors										
- EC fan motors		Y	Y	Reduce energy, heat load	Controller	7% to 15%	15% to 25%	X	X	X
- variable/fixed-speed		Y	Y					X	X	X
- optimized fan blades		Y	Y					X	X	X
-tangential fans		Y	Y	For indoor unit only				X	X	X
- improved axial fans		Y	Y	For outdoor unit only				X	X	X
Expansion devices										
- electronic expansion valves	X	Y	L		EEV and controller	15% to 20%	15%	X	X	X
-fixed orifice	X	Y	L		RAC heating	Less efficiency	negative	X	X	X
- capillary tubes	X	Y	Y		TEV	Heating mode	negative	X	X	X
Heat exchangers										
-Microchannel condenser coil	Y	Y	Y	Only condenser	AL/AL	15%	negative	X	X	X
-Microchannel evaporator coil	N	N	N				Less cost compared to the fin and tube			
- smaller tube diameter for condenser coil	X	Y	Y	Y	CU/AL	10% to 40%,	negative	X	X	X
- smaller tube diameter for evaporator coil		Y	Y	Y	CU/AL	10% to 40%	negative	X	X	X
Adiabatic condensers		Y	Very limited	Only in high ambient	Filter and water treatment	25% to 30%	20% to 35%			X
Pipe insulation		Y	Y	Normal practice	Pipe insulation	<2%	Standard	X	X	X
Refrigerant	X	Y	Y	See RTOC 2014, 2018	Refrigerant	See RTOC 2014, 2018	+/- depends on the region	X	X	X

Component	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Remarks	Necessary components	Max potential improvement	Incremental cost for RAC unit	Applicability to climate region		
								LAT	MAT	HAT
Defrost techniques	Y	Y		For HP only	controller		HP	X	X	X
- hot gas, reverse cycle		Y	L	HP	4 WAY VALVE	negative	Heating	X	X	X
- resistance heaters for Heating		Y	Y	some regions	Electric heater	negative	Some areas	X	X	X
- on demand control		Y	Y		controller		same	X	X	X
Controls										
- dynamic demand controllers		Y	Y		standard		standard	X	X	X
Reducing head pressure	X	Y	Y		Var speed cond. fans, controller	2 – 3% per 1 K	various		X	X

Part 2: SCCRE

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
Anti-fogging glass		Y	Y	Glass door freezer	Avoids heating elements, as option	Surface treatments	Minimal	<5%		X	X
Improved cabinet air flow											
- air deflectors/guides		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Aerofoils	15%	neg.	X	X	X
- shelf risers and weir plates		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Plastic strips	4%	neg.	X	X	X
- short air curtains		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Airflow design	30%	neg.	X	X	X
- strip/night curtains		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Clear plastic strips	60%	$100	X	X	X
Energy efficient fan/motors											
- Electronically Communicated (EC) fan motors		Y	Y	All types	Less energy & heat load	EC motors	10%	+15%	X	X	X
- variable speed		Y	Y	All types	e.g., 2-speed fixed	Fan motor type	10%	+15%	X	X	X
- optimised fan blades		Y	Y	All types		None	5%	Neg.	X	X	X
- tangential fans		Y	Y	All types		Fan type	5%	<10%	X	X	X
- diagonal compact fans		Y	Y	All types	Match press of cabinet	Fan type	5%	<10%	X	X	X

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- improved axial fans		Y	Y	All types		Fan type	5%	<10%	X	X	X
- fan motor outside cabinet		Y	N	Never used	Not worth it	None	n/k	neg.	X	X	X
Cabinet doors											
- doors on cabinets		Y	Y	All types	Reduces heat load and infiltration	Doors	45%	$300 per m	X	X	X
- door gaskets		Y	Y	Standard for freezer	Reduces heat load and infiltration	Gaskets	15%	$30	X	X	X
Compressors											
- higher efficiency	X	Y	Y	All types	Increased by 20% over past 20 years	Advanced compressor	20% (MT), 30% (LT)	neg.	X	X	X
- Inverter driven	X	Y	Y	All types	Better PL efficiency; with/out PFC	Inverter, dedicated compressor	40%	2 × non-inverter	X	X	X
- motor efficiency controllers		Y	L	All types	Regions having poor mains power; not needed for Variable Speed Drive (VSD)	MEC device	10%	n/k	X	X	X
- two stage compression	X	Y	L	Mainly for R744		Two (smaller) compr; two roller rotaries	5%	20 – 40%	X	X	X
- economisers / inter-stage coolers	X	Y	L	Mainly for R744		Special compressor + flash vessel or HX	15%	n/k	X	X	X
Expanders	X	Y	L	Mainly for R744		Expander / integrated compressor-expander	30%	n/a	X	X	X
Cabinet lighting											
- LEDs		Y	Y	All types	Now standard	LED lamps	50% on lighting	<0%	X	X	X
- occupancy sensors		Y	Y	mainly for non-perishables	On demand lighting	Proximity sensors	10%	<0%	X	X	X
Defrost techniques											
- hot gas, reverse cycle		Y	L	Freezers, shortens time, product quality	Increases leaks, faults	Valve	5%	3%	X	X	X

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- resistance heaters		Y	Y	MT and LT cabinets[1]	Preferred / reliable	Heater rods	n/a	n/a	X	X	X
- off-cycle		Y	Y	HT and MT cabinets	Eliminates defrost energy	none	10%	<0%	X	X	X
- on demand control		Y	Y	All types	Defrosts when needed	Sensors, controller	10%	<5%	X	X	X
Controls											
- dual port thermostatic expansion valve (TEV) (balanced)	X	Y	N	Open type	Evens evaporator load	TEV	n/k	n/k	X	X	X
- dynamic demand controllers		Y	Y	All types	Manages energy use	Sensors & controller	40%	Various	X	X	X
- electronic expansion valves (EEV)	X	Y	L	Larger cabinets	Modulates evaporator pressure	EEV and controller	20%	$200	X	X	X
- optimisation of capillary	X	Y	Y	All cabinets			Anything	Neg.	X	X	X
- suction pressure control	X	Y	L	Larger systems	Modulates evaporator pressure	(See VSC & EEV)	2% per K increase	$40 - $400	X	X	X
Reducing head pressure	X	Y	Y	Larger systems	Reduces press lift	Variable speed fans, controller	2 – 4% per 1 K reduction	Various		X	X
Ejectors	X	Y	L	Larger systems, R744 only		Ejector valve	20% or 30% with R744	$20		X	X
Heat exchanger (HX) design											
- optimised configuration	X	Y	Y	All types	Better heat transfer (HT), lower discharge pressure (DP)	HX materials	0 to 40% of baseline	Neg	X	X	X
- optimised air fins		Y	Y	All types	Better HT, lower DP	HX design	10%	Neg	X	X	X
- internal rifling	X	Y	Y	All types	Better HT, lower DP	HX design	5%	Neg	X	X	X
- internal fins	X	Y	Y	All types	Better HT, lower DP	Internal fins	5%	Neg	X	X	X
- hydrophobic coating		Y	L	All types	Mainly for conds, reduces dust and corrosion	Coating	5%	Neg	X	X	X

[1] LT: Low Temperature, around -18°C; MT: Medium Temperature, around 0°C to 8°C

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- hydrophilic coating		Y	L	All types, evaporators	Anti-corrosion; reduce water layer thickness	Coating	5%	Neg	X	X	X
- flooded evaporators	X	Y	N	Larger systems	added to R744	Float v, surge drum	5%	n/a	X	X	X
Other heat load											
- radiant reflectors		Y	Y	Any glass	Reflects infrared (IR)	Internal surface	8%	Neg	X	X	X
- night blinds and covers		Y	Y	All types	Can reduce IR and infiltration	Night blinds, covers	20%	$300	X	X	X
- improved glazing		Y	Y	Any glass	Reflects IR	New glass	5%	5%	X	X	X
- anti-sweat heater control		Y	Y	Any with AS heaters	Minimise heat load	Controller, sensors	3%	Neg.	X	X	X
- refrigerant line trim heaters		Y	Y	LT cabinets	Instead of resistance heaters	Extra piping	10% to 25%	Neg.		X	X
- vacuum insulated panels (VIP)		Y	N	All types	Reduces thermal cond.	VIP	15%[2]	$400/m^2	X	X	X
Heat pipes		Y	N	All types	In cabinet shelves, improving product temperature	Integrated heat pipes	12%	n/k	X	X	X
Leak minimization											
- improved leak tightness	Y	Y	Y	All types	Degrees of improvement	Manufacturing kit	20%	10%	X	X	X
- leak detection	Y	Y	L	All types	Previously on large system	Sensors	15%	10%	X	X	X
Liquid pressure amplification	X	Y	N	Larger systems		Liquid pump	25%	30% of compressor cost	X	X	X
Liquid-suction HX (LSHX)	X	Y	Y	All types	Brazing pipes together	LSHX	0%	Various	X	X	X
Pipe insulation		Y	Y	All types	Normal practice	Pipe insulation	3%	n/k		X	X
Higher efficiency refrigerant	X	Y	Y	All types	See RTOC 2014, 2018	Refrigerant	RTOC 2014, 2018	+/-	X	X	(X)
Nanoparticles in refrigerant	X	Y	N	All types	Experimental, concerns	nanoparticles	20%	$20 – 100	X	X	X

[2] Clodic and Zoughaib (2000).

Annex IV

AVAILABILITY OF COMPONENTS FOR AIR-CONDITIONING EQUIPMENT WITH LOW- AND MEDIUM-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS

This annex presents information on availability and EE aspects relating to AC equipment.

Availability of compressors for AC equipment

1. The most common form of AC equipment, mini-split ductless systems, mainly use rotary type compressors. The simplest form of rotary compressor is "fixed-speed," meaning it only has two modes: "on" or "off". It turns on to cool a room and turns off once the room has reached the desired set temperature. "Variable-speed" compressors are inverter-driven and can operate at more than one speed to more efficiently and comfortably deliver the amount of cooling needed and maintain the desired temperature. The variable-speed units require electronic control systems, which can add to manufacturing costs.

2. Nearly all rotary compressor production is currently located in Asia and concentrated in China, as shown in Figure 5. Compressor manufacturing outside of China in descending order of capacity as of 2018 include Thailand, South Korea, Malaysia, Japan, India, Brazil, and the Czech Republic.

Figure 5. Global RAC Rotary Compressor capacity as at September 2018 (Nicholson et al 2019)

3. China is by far the world's largest producer of compressors for room air-conditioner, with an estimated annual capacity of nearly 200 million units per year. In 2018, the four largest compressor manufacturers in China together accounted for over 60 per cent of global rotary compressor production capacity.

4. An analysis of company catalogues and websites found that rotary compressors using higher-GWP HCFC-22 and R-410A refrigerants accounted for the majority of models available worldwide in 2018, although many companies, mostly in Asia, now offer both fixed-speed and variable-speed compressors which use medium- and low-GWP HFC-32 and HC-290 refrigerants. However, the analysis found that none of the variable-speed compressor models identified use HCFC-22. In China, 42 per cent of the 167 million rotary compressors produced in 2017 were of the variable-speed type, compared to five years earlier in 2012, when these were only 30 per cent of 103 million.

5. Approximately 30 per cent of the rotary compressors produced in China in 2017 were designed to operate with the HCFC-22 refrigerant. While the quantity of HCFC-22 units has remained approximately constant over the past several years (Figure 6), the percentage of HCFC-22 units has declined in recent years, as the production of units using R-410A has increased to become the dominant type in China-produced rotary compressors.

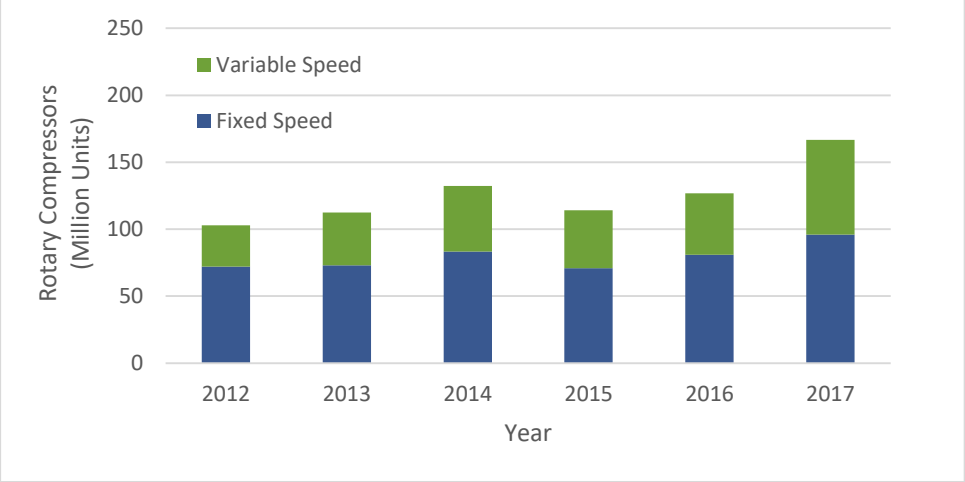


Figure 6. Chinese production of Fixed and Variable Speed Rotary Compressors, 2012-2017

6. Compressors for medium- and lower-GWP refrigerants (HFC-32 and HC-290) are mainly made in China.

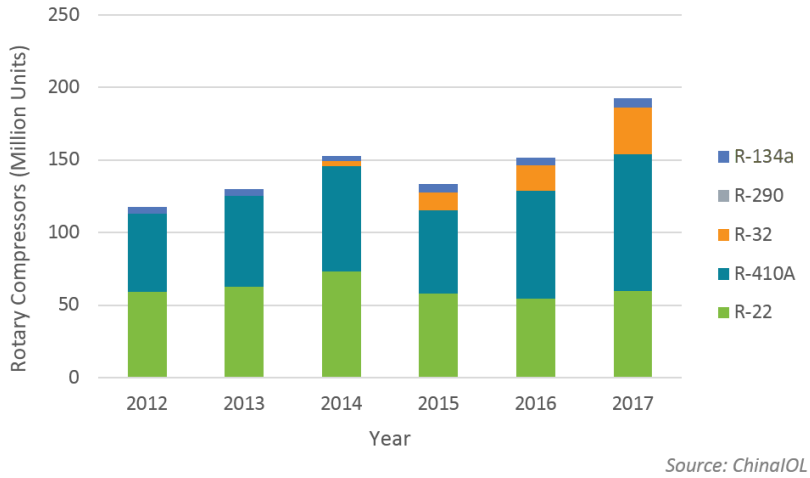


Figure 7. Chinese Production of Rotary Compressors by Refrigerant, 2012-2017

Note: HFC-134a rotary compressors are primarily used in mobile cooling applications, in contrast to the rest of the rotary compressor market which is used mainly for room (stationary) AC

7. As can be seen from the chart, the production of HC-290 compressors is not significant compared to the other refrigerants.

8. Some Middle East countries, especially with HAT conditions, continue to use reciprocating and scroll compressors in some of their production. Only a few rotary compressors are used for split AC units. Compressors operating at HAT conditions have specific design requirements (e.g. higher starting torque against the higher standing pressure during the off cycle; a motor-design suitable for those conditions). The technology for 2-ton units running on A2L refrigerants is available; however, commercial availability of compressors will depend on the demand.

9. The transition from fixed-speed to inverter compressors has sharply increased in the last five years to meet MEPS requirements, even though MEPS in some countries still list the full load efficiency figures only, rather than the seasonal efficiency figures. This is the case for Saudi Arabia where most of the AC units are fixed speed.

10. New compressor lubricants are being developed to be compatible with low-GWP synthetic refrigerants. Certain conventional polyester (POE) and polyvinyl ether (PVE) oils used for HFC refrigerants were insufficiently miscible with some refrigerants like HFC-32. New oils with better miscibility properties have been developed and patented for room AC use.

Availability of heat exchangers for AC

11. In most cases, the heat exchangers continue to be of the "fin-and-tube" type made from copper or aluminium. However, many companies are switching to use smaller tube diameter and micro-channel heat exchangers, which are already used in existing high-GWP AC split units. The most commonly used heat exchanger tube diameter for standard high GWP refrigerant are 3/8-inch (9.525 mm), ¼ inch (6.35 mm), and 7mm (~1/4 inch) tube diameter, but for the new refrigerants, some companies are using tubes of 5 mm diameter. These higher energy efficiency components reduce the refrigerant charge and are valuable in enabling medium and lower GWP refrigerant AC units to comply with safety standards. They are widely available. More information on heat exchangers in section 3.2.3 of TEAP Task Force report 2019.

Availability of fans for AC

12. Each split unit contains two fans (one in the outdoor unit and one in the indoor unit). Fan technologies are widely available. There are no special requirements for using efficient fans for medium and lower-GWP refrigerants.

Availability of refrigeration accessories for AC

13. The accessories for the refrigeration circuit used in the split AC units include the expansion device, liquid and gas valves, suction accumulator, liquid receiver, oil separator (if needed), and all accessories installed in the connecting pipes between all major components of the AC unit either in the gas side or liquid side of the unit. All of these components and accessories are available for high-GWP refrigerant applications and can be used for the medium- and low-GWP applications.

Annex V

AVAILABILITY OF COMPONENTS FOR AIR-CONDITIONERS AND SELF-CONTAINED COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT LOW- AND MEDIUM-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS

This annex presents information on availability and energy efficiency aspects relating to SCCRE.

Availability of compressors

1. A variety of different compressors are used in SCCRE, depending upon temperature lift, capacity, refrigerant type, and so on. For most types of compressors, efficiency improvements arise from marginal incremental refinements (such as oil distribution, valve losses, motor efficiency, internal leakage, flow path pressure losses, internal heat transfer, etc.). One major technological progression involves use and deployment of variable speed compressors, typically using inverter technology to enable the control of rotational speed over a fairly wide range. Variable speed compressors allow the mass flow of refrigerant to be adjusted to suit the cooling (or heating) demand so that the system components are essentially closer to the optimal balance point for the surrounding temperatures. Implicit in this is the lower mass flow (at sub-maximum load) which leads to reduced pressure losses and less frosting.

2. Usual compressors are hermetic reciprocating, scrolls and rotary (both vertical small print and horizontal when height restrictions apply). The remaining compressor developments have arisen from the increased use of R744, where much higher pressures, pressure ratios and pressure differences are present, compared to usual refrigerants. Although many of these developments are in principle beneficial to other refrigerants, they result in a costly approach for minor efficiency improvements.

3. The applicability to a specific climate/region depends more on daily or annual variation in temperature, rather than absolute high or low temperature.

Improved cabinet air flow

4. Improved cabinet air flow has a potentially huge impact on energy use and also product quality. Various physical approaches are available such as changes to configuration of air ducting and small plastic baffles and plates. Most are broadly cost-neutral but just require extensive R&D.

Energy-efficient fan/motors

5. Major transformation has occurred in the shape of electronic commutation (EC) motors, which offer significant reduction in energy use. Further benefits arise from design of fan structure and blade shape.

Doors on cabinets

6. Intuitively the use of doors on display cabinets should yield major energy benefits by retaining cold air and preventing spillage and entrainment of warm humid air. Major improvements are associated with "vertical" type cabinets, where infiltration ordinarily contributes to about 70 – 80 per cent of the heat load. The benefits are less with gondola (also known as well or coffin) type cabinets where infiltration is responsible for about 20 per cent of the load. Gaskets around glass doors also amplifies the benefit of using door.

Cabinet lighting

7. Historically SCCRE used fluorescent lamps but presently LEDs are almost ubiquitous. LEDs use less power and also reduce heat output (thus reducing heat load).

Defrost techniques

8. Historically a variety of defrost techniques have been used, including reverse cycle, hot gas, cool gas as well as electrical resistance heaters on "off-cycle" where air is continued to be passed over the frosted coil but with absence of refrigeration. Whilst reverse cycle, hot gas and cool gas defrost offer more efficient defrosting, they tend to be more costly to implement and have other implications that affect system reliability, such as causing thermal shock and thus increasing leakage. The most beneficial development related to defrost is control methodology so that defrosting-on-demand can be applied.

Controls

9. In addition to improved cabinet airflow, and in parallel with variable speed compressor drives, the most significant contribution to SCCR equipment (SCCRE) efficiency improvement has come from modern control technology. Application of the electronic expansion valve (EEV) and associated control software can yield substantial improvements in EE, although at present there is only limited application in SCCRE due to the relatively high cost, compared to other technologies. Control systems linking compressor modulation, EEVs, defrost-on-demand, lighting, trim-heaters, fan airflow rates as well as leak detection based on system parameters can have a major influence on energy consumption and optimisation of cycle efficiency. Adjusting the cooling to the use pattern e.g. while keeping the product at, say, 3°C if the shop is closed (such as during weekends, etc.). The set-point temperature can be adjusted to achieve the optimum balance between run time and pull-down energy demand. Such techniques are not applicable to perishable products.

Heat exchanger design

10. Features related to heat exchanger design are diverse and given the variation on SCCRE design, construction and function, it is difficult to make general statements on how much EE improvement particular approaches can offer and what the potential improvements could be. Target heat exchanger approach temperature difference should be below 5 K, for both evaporator and condenser. Often it depends upon the skill and knowledge of heat exchanger designers and manufacturers. In general, it is common practice today to use microchannel heat exchangers (MCHX) for condensers and brazed plate heat exchangers (BPHX) for liquid-cooled condensers, which simultaneously offer advantages in terms of charge reduction (preferred for flammable refrigerants). For smaller capacity units, wire-on-tube (WoT) condensers are used, which are low cost and provide sufficient levels of EE. The major advantage is however, that degradation due to dust accumulation over time is substantially.

Heat load

11. Lowering the heat load into the SCCRE helps reduce energy consumption per m^2 or per m^3 of refrigerated space, although it does not necessarily impact on the refrigeration cycle efficiency. Most approaches are based around limiting thermal transfer from electrical components, minimising radiant heat transfer from the surroundings and reducing conduction into the space.

Leak minimisation

12. Whilst leak minimisation is a priority for the application of flammable refrigerants, actions to retain the entire charge can significantly contribute to maintaining the "design" efficiency of a SCCRE. A deficit of refrigerant charge can go unnoticed until a certain level is reached, but in the meantime the compressor operates longer, and cycle efficiency degrades.

13. Whilst many of these technologies can in isolation produce substantive improvements in EE, combining two or more technologies will not result in summation of both improvements. Considered selection and iteration of implementation is necessary to obtain the most cost-effective benefit.

14. Many of the "older" technologies are now becoming redundant since newer technologies help bypass the need for others. For example, locating fan motors outside the cabinet is no longer worth the effort, when new EC fan motors only emit a fraction of heat of previous fan types

15. National or regional MEPS are the main driver for improving EE. Historically "in-situ" direct testing of energy use was riddled with misinterpretation and misunderstanding of measurements and results. Increasingly more rigorous methods are being developed. However, one of the main challenges is conducting tests that mimic real life conditions, which can vary widely and drastically affect comparative results.

16. Regulators in certain regions have introduced MEPS. However, the process has been turbulent in many cases due to the basis (dominator) for determining energy consumption, i.e., per internal volume, per display area, etc.

Annex VI

ADDITIONAL COSTS RELATING TO PRODUCTION LINE AND COMPONENT CHANGES FOR PRODUCING DOMESTIC AIR-CONDITIONERS USING FLAMMABLE REFRIGERANTS AND COST AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENT REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING EQUIPMENT

1. Production line changes and additional requirements (modifications) to produce domestic AC units with flammable refrigerants will require production line equipment modifications and or replacements on each line including:

(a) Refrigerant recovery and charging machines for both A2L and A3 refrigerants (US $25,000 –US $50,000)

(b) Pressure testing equipment for high pressure refrigerant A2L (HFC-32) (US $15,000 – US $30,000)

(c) Refrigerant storage tank and accessories (3000 to 10000 litre) US $15,000 – US $40,000)

(d) Structural and safety modifications in the refrigerant charging area (including electrical panels, piping, anti-static floors and accessories) (US $15,000 – US $25,000)

(e) Modifications to the finished product testing areas (US $10,000 – US $20,000)

(f) Modifications for heat exchanger production line for tooling for smaller tube diameter, or establishment of new production lines for micro-channel heat exchanger (US $1,000,000 – US $1,500,000). It should be noted that smaller diameter or microchannel heat exchanger, the material cost is significantly reduced.

(g) Labour costs differ between countries, but extra costs will come in two main categories:

(i) Staff training to build capacity in dealing with flammable refrigerants and their safety requirements.

(ii) Additional staff cost to use more skilled workers.

2. The estimated cost for these items varies between countries and depends on the source of the equipment and availability of parts. For example, the cost of a refrigerant charging machine from China is 30 per cent lower than buying the same specification machine from Europe (in the range US $25,000 – US $50,000). There is additional cost in the finished product testing area for flammable refrigerant compared to non-flammable refrigerants, due to the additional piping, isolation valves and gas leakage sensors (5 to 10 sensors at ~ US $500 each) that are required in many locations.

Safety measures

3. Additional ventilation and fire-fighting equipment is required in the charging area, for safe manufacture any units for either A2L or A3 refrigerants with estimated costs as follows:

- Charging area ventilation system (US $10,000 – US $20,000)
- Charging area firefighting system including sprinklers and water storage tanks (US $20,000 – US $30,000)

Testing

4. Testing facilities are required at two locations, the production line and the laboratory for testing A2L and/or A3 refrigerants with the following estimated costs:

- The production line testing area (US $50,000 – US $75,000)
- The laboratory for product development (US $50,000 – US $75,000)

IP/technology know-how

5. The costs of technology transfer including IP and know-how are estimated as follows:

- Software (either developed in-house or outsourced from another specialized company: (US $0 – US $50,000)
- Building prototype(s) to verify performance and validate the software: (US $10,000 – US $20,000)
- IP cost is unknown but may be a royalty (in licensing) or a one-off license payment. For many A2L refrigerants there is substantial IP in terms of design of the refrigerant supply but moreover for system design, etc. With A3 refrigerants there is only very limited IP, and this is generally associated with "gadgets" and are thus not critical to their application.

Logistics

Shipping

6. This will include the additional shipping cost due to flammability for all material and/or components required for the manufacturing of the AC and CR equipment, and the additional cost of shipping finished goods either internally or abroad. This differs between countries. As an example, the shipping cost of a 40 ft container of flammable refrigerant from China to Jordan is US $1,900 compared to US $1,500 for non-flammable refrigerant. Some countries customs and clearance processes cost an additional 3-5 per cent.

Handling

7. This includes the cost of handling and storage of the flammable refrigerant and or finished product inside the manufacturing facilities and preparing it for inland, sea and air freight shipments. The handling process inside the factory requires the following precautions which increase the cost including:

- Storage of flammable refrigerant can be either inside a storage tank or smaller refrigerant cylinders, but both need adequate ventilation, and leakage monitoring systems: (US $20,000 – US $30,000)
- Handling the refrigerant and finished products inside the factory requires additional safety measures for transportation between the production departments and storage areas: (US $10,000 – US $15,000)
- Additional factory insurance and product liability insurance for flammable refrigerants: (US $8,000 – US $20,000)

Installation

8. This will include the additional costs of the training and awareness programs under the local jurisdiction; the extra cost of the certification and approvals from the jurisdiction party(s) to comply with the local building codes; international certification requirements to meet safety standards required in many countries for in the domestic A/C and commercial refrigeration equipment using flammable refrigerants.

9. This can be in different categories with the following estimates for costs:

(a) Training and awareness programmes with certification of workers, workshops etc. (US $10,000 – US $20,000)

(b) The certification cost for the new products (depending on the number of models needing to be certified, and the test standards requirements IEC, ISO, etc. (US $10,000 – US $15,000)

Overall costs summary

10. In summary, the overall costs, excluding shipping costs, are shown in Table 1 below. From this one can conclude the following at an overall level.

(a) The investment required to convert an RAC manufacturing facility to flammable refrigerants is in the range of 300,000 – 500,000 USD.

(b) The additional investment required to maximise energy efficiency by the establishment of new production lines for micro-channel heat exchangers is in the range 1,000,000 – 1,500,000 USD

Table 1: Estimates of the manufacturing costs for energy efficient RAC equipment containing low- and medium-GWP flammable refrigerants.

Conversion measure (USD)	Minimum	Maximum
Manufacturing		
Production line		
Refrigerant recovery and charging machines for both A2L and A3 refrigerants	25,000	50,000
Pressure testing equipment for high pressure refrigerant A2L (HFC-32)	15,000	30,000
Refrigerant storage tank and accessories (3000 to 10000 Litre)	15,000	40,000
Structural and safety modifications in the refrigerant charging area (including electrical panels, piping, anti-static floors and accessories)	15,000	25,000
Modifications to the finished product testing areas	10,000	20,000
Modifications for heat exchanger production line for tooling for smaller tube diameter, or establishment of new production lines for micro-channel heat exchanger	1,000,000	1,500,000
Safety measures		
Charging area ventilation system	10,000	20,000
Charging area firefighting system including sprinklers and water storage tanks	20,000	30,000
Testing		
Production line testing area	50,000	75,000
Laboratory for product development	50,000	75,000
IP/technology know-how		
Software	0	50,000
Building prototype(s) to verify performance and validate the software	10,000	20,000
IP costs[1]	variable	variable
Logistics		
Shipping		
Additional costs	3%	5%

[1] Please refer to section 3.1.1 discussion on IP related costs

Conversion measure (USD)	Minimum	Maximum
Handling		
Storage of flammable refrigerant can be either inside a storage tank or smaller refrigerant cylinders, but both need adequate ventilation, and leakage monitoring systems	20,000	30,000
Handling the refrigerant and finished products inside the factory requires additional safety measures for transportation between the production departments and storage areas	10,000	15,000
Additional factory insurance and product liability insurance for flammable refrigerants	8,000	20,000
Installation		
Training and awareness programmes with certification of workers, workshops	10,000	20,000
Certification cost for the new products (depending on the number of models needing to be certified, and the test standards requirements IEC, ISO)	10,000	15,000
Total without micro-channel heat exchanger production line or shipping)	**303,000**	**535,000**
Total with micro-channel heat exchanger production line (excluding shipping) (USD)	**1,300,000**	**2,035,000**

AC: Cost of components

11. The relative costs of energy efficient components are compared for a 3.5 kW mini-split in China. The baseline uses R-410A (APF 4.0) and HCFC-22 (EER 3.5) appliances. Certain components discussed in the following sub-chapter also apply to commercial refrigeration. These components will not be discussed in the chapter 3.3.

Refrigerant

12. Conventional refrigerants account for about 1 per cent of the total AC cost. The price of refrigerant always decreases with increasing consumption. Indicative prices of refrigerants commonly used in AC in China are shown in Fig 1. It is worth noting that in UK, the bulk HC (HC-290, HC-600a, HC-1270) price varies between USD 1 to USD 1.5 per kg. Furthermore, the average HCFC-22 price is USD 6/kg.

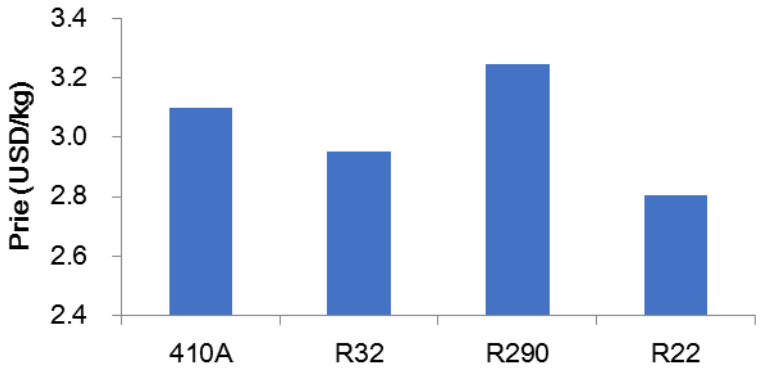


Figure 1. Estimates of refrigerant prices in China

13. The general price range of refrigerants is low, around 3 USD/kg +/-10 per cent. At an early stage, new refrigerants are more expensive, and difficult to get a foothold in the market. For example, R-290 is a by-product of the liquified natural gas (LNG) industry. Its production process is simpler than HFC-32, but its current price is slightly higher than HFC-32. However, when buying in bulk quantities, refrigerant-grade propane can be as low as US $1 per kg.

14. The cost of high-GWP HFCs will rise with the implementation of the F-gas regulation and Kigali amendment, both of which impact the competitiveness of products containing HFCs. For example, the quoted price of R-410A in Europe went up tenfold over 2017, and in 2018 is ~ 20 Euro/kg, which far exceeds the material cost of the refrigerant itself. This increases the competitiveness of medium- and low-GWP alternative refrigerants and greatly promote the commercialisation of environmentally friendly refrigerant technologies.

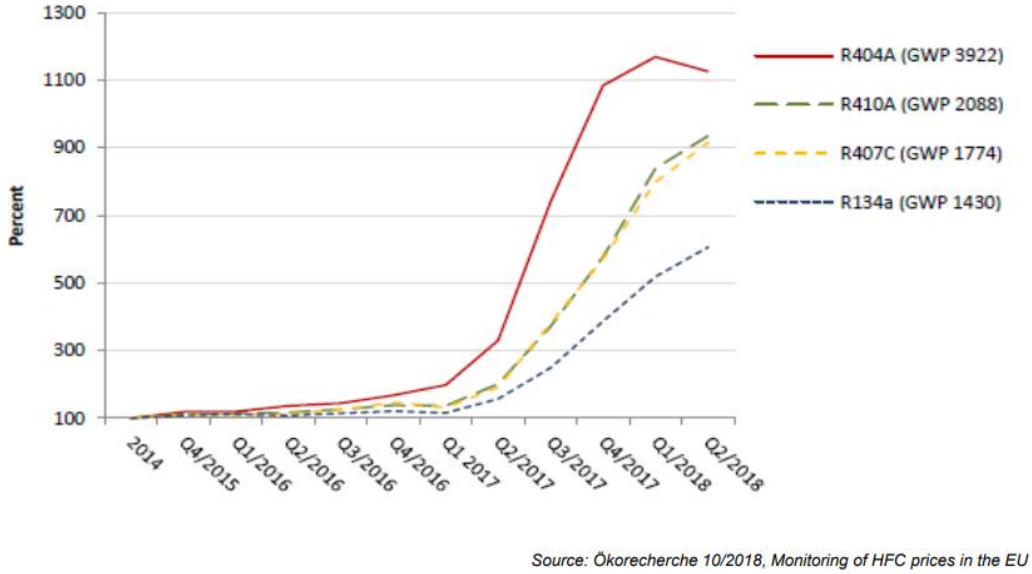


Figure 2. HFCs quota price trend in Europe (Ökorecherche, 2018)

Compressor

15. The compressor accounts for about 20 per cent of the total cost of AC systems. Improving compressor efficiency represents one of the most direct and effective measure to improve an air-conditioner's efficiency. Rotary compressors are the most commonly used. Piston compressors are used in some window air-conditioner especially in the Middle East, whilst scroll compressors are often used in lighter commercial products. Today, modern compressors have an efficiency of about 70 per cent. The majority of the losses are electrical and mechanical, with the remainder due to internal refrigerant leakage.

16. The most effective way to improve the efficiency of a compressor is to use a higher efficiency motor, but lower scale improvements can also be obtained using refrigerants with properties that provide higher thermodynamic efficiency, reducing inner leakage and mechanical friction. These will increase the cost of materials and manufacturing costs. Efficiency can be improved by up to 20 per cent by technical advances, but cost increases proportionately.

Heat exchangers

17. Finned tubes are the most commonly used heat exchangers for AC. The heat exchanger efficiency is mainly determined by the heat transfer coefficient, area and the flow friction and has a major impact on the system's cooling/heating capacity. The smaller the heat transferring temperature difference (i.e. the larger heat transferring coefficient multiplied by the area) and the smaller the flow friction, the higher the heat exchanger efficiency, which can be achieved. Measures to improve efficiency include heat transferring enhanced copper tubes and fins, increasing air volume, reducing contact thermal resistance between fins and copper tubes, improving manufacturing processing to reduce the damage to the heat transfer enhancing structure, and increase of the surface area and to improve the contact between tubes and fins. Most of these increase the cost of manufacturing. Recent considerations such as reducing the heat exchanger volume to

reduce the volume of refrigerant and the use of thinner tubes (<5mm diameter) have not yet been assessed in terms of manufacturing costs

18. The relationship between the heat transfer efficiency of finned tubes to the system energy efficiency, and accordingly increased cost are shown in the figure below. Both found a proportionate increase in heat transfer efficiency in relation to cost.

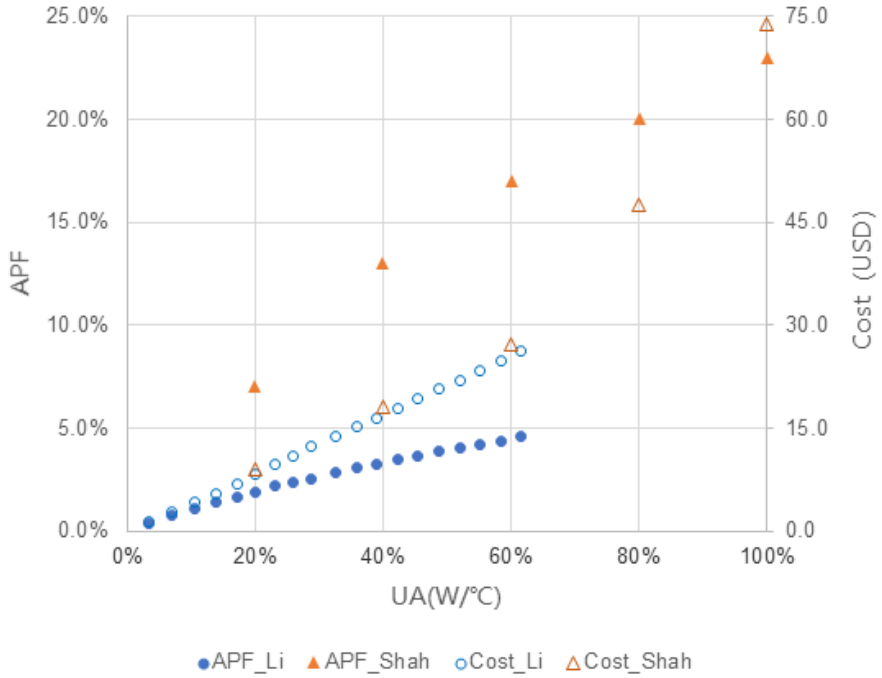


Figure 3. Heat exchanger cost and air-conditioner efficiency changing with heat exchanger efficiency

19. Micro-channel heat exchangers have a different mechanical structure, and approximately 40 per cent higher heat transfer efficiency than finned tube exchangers, due to:

- Higher air side heat transferring efficiency (larger tube area facing the airflow, with tubes connected with the fins by welding or by metal forming[2], rather than by expansion);
- Less refrigerant flow resistance due to shorter and more direct tubes;
- Higher refrigerant heat transfer coefficient
- Reduced system refrigerant charge by as much as 40 per cent.

20. Micro-channel heat exchangers require more complex to develop and are difficult to use them as evaporators. In addition, they can have higher maintenance costs because they are made from aluminium and the weld points can corrode in some conditions. Nevertheless, compared to finned tube heat exchangers, micro-channel heat exchangers have similar or marginally lower (~5 per cent) cost for the same capacity, and have higher (0-5 per cent) efficiency.

[2] Metal forming, is the metalworking process of fashioning metal parts and objects through mechanical deformation; the workpiece is reshaped without adding or removing material, and its mass remains unchanged

Fans/motors

21. There are two main types of fan motor used in air-conditioners - direct current (DC, efficiency 70 per cent) and alternating current (AC, efficiency 30 per cent). DC motors have a much higher efficiency but are almost double the cost compared to AC motors.

22. AC efficiency can be improved by increasing airflow rate. The air volume flow is proportional to the power of the fan. There is an optimum airflow rate at which the air-conditioner has highest efficiency. If the airflow is less than the optimum, increasing airflow benefits the system efficiency. However, if airflow rate is greater than the optimum then system efficiency declines due to additional power needed to overcome high-pressure loss that has a diminishing benefit to heat transfer. The cost of the fan and motor increases with increasing airflow rates in a stepwise fashion, because a single fan/motor can cover a range of airflow rates. Selecting the correct fan for cost versus efficiency varies from case to case. As can be seen, there is an optimal fan speed, above which efficiency declines and cost increases.

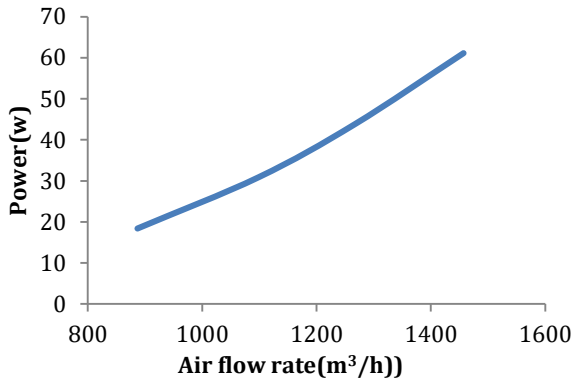


Figure 4. Schematic of fan power changing with airflow rate

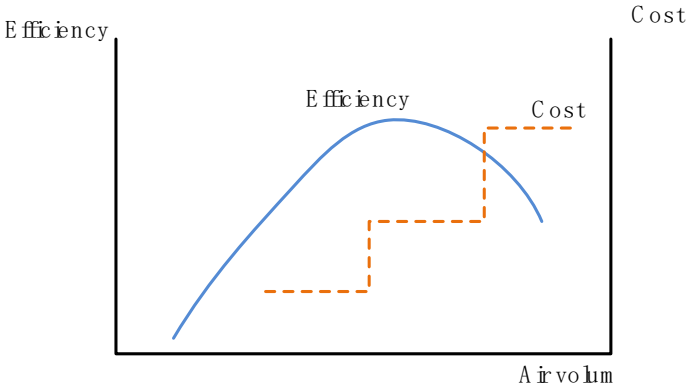


Figure 5. Schematic of air-conditioner efficiency and motor cost changing with air flow

Maintenance; self-cleaning

23. Most air-conditioners will have 5-10 per cent decline in efficiency during their lifetime, mainly due to dust deposition on heat exchange surface, the more complicated the fin geometry and the more rows of tubes, then the greater the dust deposition. As a result, the resistance to airflow increases and the air flow volume decreases, which reduces the efficiency of the heat exchanger and of the air-conditioner. Therefore, regular maintenance and cleaning of the AC system is essential in maintaining energy efficiency.

Increasingly, new products have a self-cleaning design at an additional cost of about $20 (Task Force estimate).

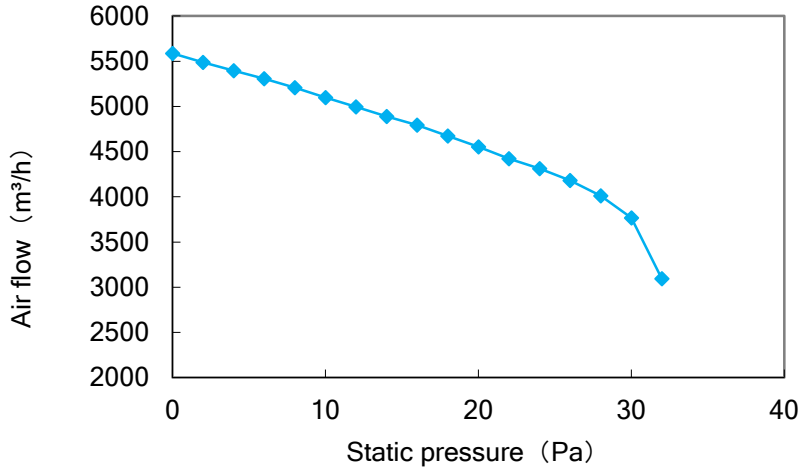


Figure 6. Schematic of airflow decrease changing with static pressure increase, to mimic dust build-up

Retrofit technologies

24. Several retrofit technologies offer EE improvements compared to baseline technologies. Some of these retrofit technologies include for room AC:

- Electronic, programmable, and self-learning Wi-Fi-enabled thermostat (estimated at 5 per cent energy saving);
- Central control system (estimated at 10 per cent energy saving); and
- Replacement of indoor and outdoor fan motors with variable speed ECM motors.

25. For commercial self-contained AC units, retrofit technologies include:

- Digital controllers to improve the compressor and fan controls;
- Adding doors/shields to vertical self-contained units;
- Replacing lighting with LED (reduce load and power draw); and
- Changing the thermostat set-point and reduce the glass-door heater power requirement
- Install anti-fog films on glass doors and deactivate glass door heaters (reduce load and power draw).

Costs of components for higher EE, specific to CR

26. As discussed in the previous sub-chapter, the energy consumption associated with a CR appliance is dictated not only by the system design and its components but also the construction of the equipment that is often unrelated to the system. Thus, there are a variety of elements that can be applied to commercial refrigeration appliances that may or may not be affected by the refrigerant type. Their cost can vary widely, depending upon the type of appliance, it's size and also its function.

27. Table 2.7 in Chapter 2 of TEAP task force report lists all the often-considered options for improving SCCRE energy consumption; there are of course other options, but which may be applicable to non-self-contained or centralised type systems. The options have been broadly categorised according to its function, for example, improving airflow, improving fan energy, reducing heat load and so on. Of course, the effectiveness and cost of most of these options are interrelated. As noted above, the indicative additional

costs are applicable to certain classes of SCCRE, but also the size of the appliance; most of these apply to a 1.2 m or 2.5 m length cabinet.

System design and optimization

(ii) Cost-neutral EE upgrades

28. EE is one of the main design features that product development engineers consider during the development of new platforms, however, there are several other important factors that impact the design including manufacturability, reliability, cost, performance, etc. An engineer will always consider cost-neutral EE upgrades, whilst potentially improving other features. Some of the relevant examples of cost-neutral or cost-reduction EE upgrades include:

(a) Micro-channel heat exchangers;

(b) Improved fan designs;

(c) Optimized air flow distribution;

(d) Higher efficiency compressors; and

(e) Evaporator and Condenser design optimization (within certain limits)

(ii) Additional cost savings opportunities from EE measures

29. Some EE measures should be studied holistically, as they can increase or decrease costs elsewhere. For example, using brushless DC motors (electronically commutated motors, ECM) fans in commercial refrigeration units would require the use of more expensive electrical conductor (3- or 4-wires DC conductor instead of the usual 2-wires AC conductor). In contrast, a higher efficiency commercial refrigerator requires less electrical power and thus smaller electrical wire gauge and switches with a lower total installed cost.

30. All aluminium micro-channel heat exchangers reduce material cost, require lower refrigerant charge/cost, and because they are smaller and lighter result in reduced chassis cost, reduced cover cost, reduced packaging cost, and reduced transportation and storage costs.

(iii) System design and optimization case study: Sino - US CFC-Free Super-Efficient Refrigerator Project

31. During the phase-down of CFC refrigerants, parties were interested in providing energy efficient solutions. One of the major studies performed was the “The Sino - US CFC-Free Super-Efficient Refrigerator Project Progress Report: Prototype Design & Testing” to promote the transformation of the Chinese industry to the production of CFC-free, super-efficient domestic refrigerators. Technologies examined in that effort included:

(a) Non-CFC refrigerants and foam-blowing agents;

(b) Alternate refrigeration cycles;

(c) More efficient compressors;

(d) Optimization of condenser and evaporator designs;

(e) Increased insulation thickness; and

(f) Improvements to door gaskets and controls.

32. EPA (1997) reported that the China Household Electric Appliance Research Institute (CHEARI), the Haier Group, and the University of Maryland collaborated to build and test typical Chinese refrigerators, evaluate Chinese consumer opinion research on the marketing of ozone-friendly, energy-efficient refrigerators, and perform field testing for one year in three Chinese cities to test the performance of units under actual operating conditions. EPA (1997) concluded the following:

33. Laboratory tests have demonstrated that conversion from (CFCs) to alternative refrigerants and foam-blowing agents can be achieved along with substantial energy savings as shown Table 2.

Table 2: Summary of laboratory test results (EPA, 1997)

Energy savings	Technology improvement options employed
~20%	Lorenz cycle with non-CFC refrigerant blend
~20%	Increased foam insulation (about 2 cm) to sides, back, bottom, and (1 cm) to both doors of cabinet
~40%	Increased foam insulation and improved compressor
~50%	Increased insulation, improved compressor, and Lorenz cycle with non-CFC refrigerant blend

34. Chinese consumer opinion research showed that Chinese consumers care more about the quality of the product and they are willing to pay 20 per cent more for a higher quality product which consumes 40 per cent less energy than the models currently available.

35. The optimized models showed significant higher energy savings in the field than in laboratory tests; however, noise level was a concern with the field-tested units.