

Travaux dirigés assistés par ordinateur

Etude d'une Pompe à Chaleur

Pascal TOBALY

Sup-Galilée

Energétique 2ème Année

Module Pompes à chaleur

Résumé

Cette séance sera consacrée à l'étude d'une pompe à chaleur. Nous ferons d'abord une analyse énergétique classique. Puis nous ferons une analyse exergetique du système. Les données thermodynamiques seront recherchées en temps réel sur le site Webbook à l'adresse suivante : <http://webbook.nist.gov/chemistry/>. Ce site met en ligne des données physico-chimiques rassemblées par le NIST (National Institute of Standards and Technology) pour un grand nombre de substances. Dans un grand nombre de cas les données thermodynamiques relatives aux phases fluides sont disponibles. Une démonstration rapide des possibilités sera effectuée en début de séance.

Attention pour que les données soient cohérentes avec le diagramme distribué, il faut choisir la convention "default for fluid" ou "IIR" pour "desired standard state convention". Cette convention fixe pour le liquide saturé à 0°C l'enthalpie (massique) à 200 kJ/kg et l'entropie à 1 kJ/kg.K. Veiller aussi à décocher la case "java applet" pour obtenir des données numériques plutôt qu'un graphique.

1 Analyse énergétique

On considère une pompe à chaleur destinée à chauffer un bâtiment. La machine fonctionne selon un cycle de Rankine inversé classique en régime sec. Le fluide frigorigène est le R152a (1,1,difluoroethane). La chaleur est

prise dans l'air extérieur qui constitue ainsi la source froide tandis que la chaleur est distribuée dans le bâtiment par un circuit de chauffage central. On supposera que l'eau revenant des radiateurs entre dans le condenseur à la température de 28°C et en ressort à la température de 36°C pour alimenter le réseau des radiateurs. On dit que la pompe à chaleur est du type air-eau. On suppose que la température intérieure doit être maintenue à 20°C . Nous allons analyser le fonctionnement de la machine en considérant une température extérieure de 5°C .

Les hypothèses concernant le cycle subi par le fluide frigorigène circulant à l'intérieur de la pompe à chaleur sont les suivantes :

- La compression sera supposée adiabatique mais non réversible de rendement par rapport à l'isentropique égal à 80% .
- Les évolutions seront supposées isobares dans l'évaporateur et le condenseur.
- L'évolution dans le détendeur sera supposée isenthalpique.
- On négligera la variation d'énergie cinétique pour les 4 évolutions.
- La température de condensation sera fixée à 48°C et la température d'évaporation à -8°C .
- En fin d'évaporation, le fluide est surchauffé de 2°C . De même, le liquide sortant du condenseur est sous-refroidi de 3°C .

Une analyse préalable de l'enveloppe du bâtiment a permis de déterminer que la puissance calorifique nécessaire pour maintenir une température intérieure de 20°C pour une température extérieure de 5°C était de 125kW .

1. Quel doit être le débit d'eau traversant le condenseur pour assurer une telle puissance dans les conditions précisées ci-dessus.
2. Déterminer pour chacun des points du cycle la température, la pression, l'enthalpie massique, l'entropie massique et le cas échéant, le titre de vapeur. Préciser la démarche mise en oeuvre et les calculs intermédiaires s'il y a lieu. Rassembler ensuite les résultats dans un tableau (1 ligne pour chaque point). Prévoir une colonne supplémentaire pour l'exergie (massique) qui sera utile dans la deuxième partie.
3. Tracer le cycle sur le diagramme fourni.
4. Calculer le coefficient de performance ε_c pour ce cycle.
5. Calculer le débit de fluide frigorigène.
6. Calculer la puissance absorbée par le fluide au passage dans le compresseur.
7. En supposant que le moteur électrique entraînant le compresseur a un rendement de 85% , en déduire la puissance électrique consommée.

8. Supposons qu'il n'y ait pas de pompe à chaleur et que le chauffage du bâtiment soit uniquement assuré par des radiateurs électriques. Quelle serait la consommation dans ce cas ? Comparez les deux systèmes de chauffage. Expliquez d'où vient la différence.
9. Calculer la puissance absorbée par le fluide dans son passage par l'évaporateur.

2 Analyse exergetique.

Nous allons maintenant analyser le système du point de vue du deuxième principe. Pour cela, nous allons faire appel à la notion d'exergie qui a été présentée en cours. Nous allons analyser chacun des processus pour en évaluer les pertes exergetiques. Nous prendrons comme température de référence la température de l'air extérieur soit 5°C.

1. Évaluer le travail idéal (ou plutôt la puissance idéale \dot{w}_{id}) nécessaire pour élever la température du flux d'eau traversant le condenseur. Comparer avec la puissance de compression. Interpréter. Expliquer la différence.
2. Calculer le rendement exergetique global de l'installation. $\rho_{ex} = \frac{\dot{w}_{id}}{\dot{w}}$
3. Pour chacun des éléments du système, calculer le "travail idéal" \dot{w}_{id} , le "travail perdu" $\dot{w}_p = \dot{w} - \dot{w}_{id}$. On pourra rassembler les résultats dans un tableau faisant apparaître pour chaque élément, le travail réel, le travail idéal, le travail perdu. On note que concernant le condenseur, pour pouvoir prendre en compte l'irréversibilité due à l'échange entre les deux fluides, il faut calculer la somme des travaux perdus pour les deux fluides.
4. Vérifier que la somme des travaux perdus est bien égale au travail perdu global pour tout le système. Rajouter une colonne au tableau précédent en évaluant les travaux perdus en termes de pourcentages du travail perdu global. L'analyse de ce tableau doit permettre d'évaluer quels sont les processus les plus dégradateurs d'exergie. Il revient à l'ingénieur de décider quelles améliorations sont les plus intéressantes à mettre en oeuvre. Une telle analyse ne vous dit pas ce que vous devez faire mais vous donne des éléments pour prendre vos décisions en fonction des gains escomptés et des coûts prévisibles.

3 Rendement isentropique de compression.

Supposons toutes choses égales par ailleurs que le rendement par rapport à l'isentropique de la compression soit amélioré et devienne égal à 90%.

1. Recalculer le point final de la compression ainsi que tous les paramètres du système qui devront être modifiés. Il va de soi que la puissance de chauffe reste constante.
2. Tracer le nouveau cycle
3. Refaire l'analyse exergétique en fonction des nouvelles conditions. Comparer avec le cas précédent. Expliquer d'où viennent les différences.

4 Efficacité de l'échangeur.

Supposons que la surface d'échange du condenseur soit augmentée. Il s'en suivra une amélioration de l'efficacité de l'échangeur. Cet aspect des choses ne sera pas analysé ici. Il relève du cours sur les échangeurs de chaleur (voir cours de P. Jestin). Toujours est-il que la température de condensation devient maintenant égale à 43°C.

1. Calculer les nouveaux points du cycle.
2. Tracer le nouveau cycle.
3. Refaire l'analyse exergétique et expliquer les différences.
4. Voyez vous d'autres améliorations possibles ? Expliquez.