SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

Co-funded by the European Union

Module 4
Refroidissement urbain

Élément du programme pédagogique SHaKE sur les systèmes de chauffage et de refroidissement urbains

EXERCICES

Simulation de refroidissement et de pompe à chaleur, comparaison des réfrigérants et évaluation de l'impact environnemental avec suggestions de solutions

Établissement porteur : Universitat Jaume I de Castellón
Erasmus+ KA220-HED Partenariats de coopération dans l'enseignement supérieur
Version : 1.1
Date : Mai 2026
https://www.shakeproject-dhc.eu/

EXERCICES

Les exercices sont présentés en premier, suivis des solutions correspondantes à la fin de la section. Seuls les problèmes nécessitant une réponse quantitative ou analytique sont résolus.

Tous les exercices sont obligatoires.

1. Mode Refroidissement (Simulation de groupe d'eau glacée / Chiller)

Lié à : Section 4.2.1 (Groupes de production d'eau glacée à compression), Section 4.1 (Rôle du refroidissement dans le SHC), et Section 4.4 (Températures de fonctionnement)

À l'aide du logiciel Bitzer, résolvez les tâches suivantes :

1. Choisissez un compresseur à piston semi-hermétique.
2. Sélectionnez le mode réfrigération.
3. Sélectionnez un compresseur unique et choisissez le dernier modèle.
4. Sur la base du modèle de compresseur sélectionné, choisissez deux réfrigérants :

   R134a (HFC de référence) (Tableau 4.17)
   R1234ze (alternative à faible PRG) (Tableau 4.18)
5. Simulez pour des températures d'évaporation de –20 °C à +20 °C avec des pas de 10 °C
6. et simulez pour des températures de condensation de 15 °C à 55 °C avec des pas de 10 °C.
7. Utilisez une surchauffe utile de 10 K et un sous-refroidissement de 2 K.
8. Enregistrez l'EER dans les tableaux de chaque réfrigérant pour chaque combinaison de températures.
9. Vous pouvez exporter ou reproduire les données générées et générer des graphiques avec n'importe quel logiciel.

Analyse :

1. Comparez l'EER entre les fluides frigorigènes et les points de température.
2. Identifiez les tendances : comment l'EER évolue-t-il avec les températures de l'évaporateur/condenseur ?
3. Quel est l'effet du type de réfrigérant sur l'efficacité ?
4. Est-il possible de travailler dans toutes les conditions indiquées dans le tableau ? Justifiez votre réponse.

Tableau 4.17. *Résultats EER pour le R134a*.

Tevap/Tcond	15	25	35	45	55
-20					
-10					
0					
10					
20					

Tableau 4.18. *Résultats EER pour le* R1234ze.

Tevap/Tcond	15	25	35	45	55
-20					
-10					
0					
10					
20					

2. Mode chauffage (simulation de pompe à chaleur)

En lien avec : Section 4.1 (Fonctionnement de la pompe à chaleur), Section 4.4 (Intégration du chauffage dans DHN), Section 4.3 (Performance du réfrigérant)

En utilisant le logiciel Bitzer, résolvez les tâches suivantes :

1. Passez le logiciel BITZER en mode pompe à chaleur
2. Utilisez les mêmes deux fluides frigorigènes que la Partie 1 et le modèle compresseur
3. Simuler des températures d'évaporation de –25 °C à +25 °C, et des températures de condensation de 45°C à 75 °C avec des pas de 10 °C
4. Notez le COP dans les tableaux de chaque réfrigérant pour chaque combinaison de températures
5. Vous pouvez exporter ou reproduire les données générées et générer des graphiques dans n'importe quel logiciel

Analyse :

1. Comment les performances changent-elles en conditions de source froide ?
2. Quel réfrigérant fonctionne mieux à basse température de base ?
3. L'une ou l'autre configuration pourrait-elle être utilisée dans un DHN de 4e ou 5e génération ?
4. Est-il possible de travailler dans toutes les conditions indiquées sur la table ? Justifiez votre réponse.

Tableau 19. Résultats du COP pour R134a.

Tevap/Tcond	45	55	65	75
-25				
-15				
-5				
5				
15				
25				

Tableau 20. Résultats du COP pour R1234ze

Tevap/Tcond	45	55	65	75
-25				
-15				
-5				
5				
15				
25				

.

3. Adaptation au climat et application à l'énergie des districts

En lien avec : Section 4.1 (SHC), 4.4 (options de configuration), et études de cas réelles dans la section finale de théorie

En utilisant le logiciel Bitzer, résolvez les tâches suivantes :

1. Sélectionnez l'une des conditions climatiques suivantes et proposez une conception adaptée de pompe à chaleur en utilisant vos données de simulation :
2. Climat froid (par exemple Helsinki) : forte demande de chauffage, possibilité de SHC
3. Climat chaud/aride (par exemple Riyad) : demande dominante de refroidissement
4. Tropical (par exemple Singapour) : refroidissement équilibré, possibilité de SHC

Considérons une pompe à chaleur air-air avec un glissement de température de 15 K entre la source de chaleur et l'évaporateur, ainsi qu'entre le puits de chaleur et un condenseur

Dans chaque cas :

1. Identifier les plages de température requises
2. Recommandez le fluide frigorigène et le mode de fonctionnement
3. Discuter de la variation saisonnière du COP et des implications pour la conception
4. Évaluer les bénéfices possibles du chauffage/refroidissement simultané (SHC)

4. Évaluation des impacts environnementaux

En lien avec : Section 4.3 (Réfrigérants, GWP, TEWI)

Résolvez les tâches suivantes :

Tâche :

Pour chaque réfrigérant simulé :

1. Recherche sur le PRG (Potentiel de réchauffement climatique)
2. Estimer TEWI (Total Equivalent Warming Impact) en utilisant les résultats énergétiques et les hypothèses de fuite de réfrigérant (en utilisant les données fournies par l'institut australien (AIRAH)) pour le cycle de vie de 15 ans pour l'Espagne, la France et la Hongrie

Exigences de soumission

Les étudiants doivent soumettre :

1. Un bref rapport (max 6 pages) comprenant :
2. Paramètres de simulation
3. Tableaux et graphiques COP/EER
4. Comparaison des réfrigérants
5. Réponses aux questions d'analyse
6. Captures d'écran des résultats de BITZER
7. Références (sources web, littérature, et déclaration d'outils d'IA si utilisés)

SOLUTIONS

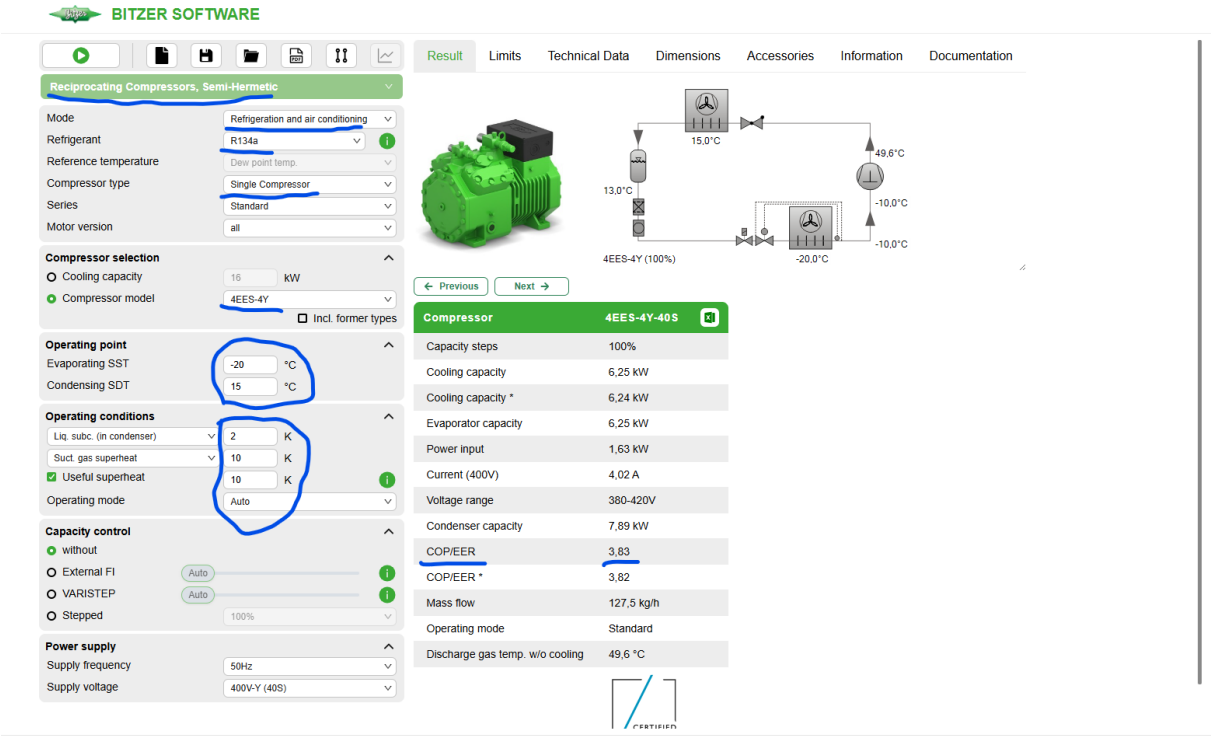
1. Mode Refroidissement (Simulation de groupe d'eau glacée)

Lié à : Section 4.2.1 (Groupes de production d'eau glacée à compression), Section 4.1 (Rôle du refroidissement dans le SHC), et Section 4.4 (Températures de fonctionnement)

À l'aide du logiciel Bitzer (https://www.bitzer.de/gb/en/tools-archive/software/software/software-versions.jsp), résolvez les tâches suivantes :

1. Choisissez un compresseur à piston semi-hermétique.
2. Sélectionnez le mode réfrigération.
3. Sélectionnez un compresseur unique et choisissez le modèle 4EES-4Y.
4. Sur la base du modèle de compresseur sélectionné, choisissez deux réfrigérants :

   R134a (HFC de référence) (Tableau 4.17)
   R1234ze (alternative à faible PRG) (Tableau 4.18)



5. Simulez pour des températures d'évaporation de –20 °C à +20 °C avec des pas de 10 °C
6. et des températures de condensation de 15 °C à 55 °C avec des pas de 10 °C.
7. Utilisez une surchauffe utile de 10 K et un sous-refroidissement de 2 K.
8. Enregistrez l'EER dans les tableaux de chaque réfrigérant pour chaque combinaison de températures.

Analyse :

- Comparez l'EER entre les fluides frigorigènes et les points de température
  Plus le taux de pression est élevé (différence plus grande entre Tevap et Tcond), plus l'EER est bas car la consommation électrique du compresseur augmente pour atteindre une température plus élevée. En ce qui concerne les réfrigérants, le R134a présente un EER légèrement supérieur à basse température et une plage de fonctionnement en température plus large ; cependant, le R1234ze présente un EER plus élevé à haute température mais a une plage de température limitée en mode refroidissement. Ce phénomène est dû à deux propriétés : la densité d'aspiration du R1234ze est inférieure à celle du R134a (pour atteindre la même puissance, un volume de compresseur plus important est requis) et les propriétés de saturation (relation température-pression).
- Identifier les tendances : comment l'EER évolue-t-il avec les températures à l'évaporateur et au condenseur ?
  L'EER diminue lorsque la différence de température augmente.
- Quel est l'effet du type de réfrigérant sur l'efficacité ?
  Le type de réfrigérant peut augmenter ou diminuer l'efficacité selon la plage de températures et les propriétés thermodynamiques, montrant ainsi qu'il n'y a pas de meilleur ou de moins bon réfrigérant en termes purement thermodynamiques : chacun est adapté à une plage de températures déterminée.
- Est-il possible de travailler dans toutes les conditions indiquées dans le tableau ? Justifiez votre réponse **:**
  Non, deux facteurs limitent les conditions de fonctionnement possibles : la limite du compresseur définie par le fabricant pour garantir un long cycle de vie, l'efficacité et son bon fonctionnement, et le type de réfrigérant en raison de la pression de saturation propre à chacun.

Tableau 4.17. Résultats EER pour le R134a.

Tevap/Tcond	15	25	35	45	55
-20	3.83	2.93	2.28	1.78	1.36
-10	5.65	4.09	3.10	2.38	1.84
0	-	5.87	4.22	3.15	2.40
10	-	8.81	5.87	4.20	3.12
20	-	-	-	-	-

Tableau 4.18. Résultats EER pour le R1234ze.

Tevap/Tcond	15	25	35	45	55
-20	-	-	-	-	-
-10	-	4.02	3.04	2.34	1.80
0	-	5.89	4.24	3.16	2.40
10	-	-	6.03	4.30	3.19
20	-	-	-	5.97	4.27

2. Mode Chauffage (Simulation de pompe à chaleur)

Lié à : Section 4.1 (Fonctionnement des pompes à chaleur), Section 4.4 (Intégration du chauffage dans le DHN), Section 4.3 (Performance des réfrigérants)

À l'aide du logiciel Bitzer, résolvez les tâches suivantes :

1. Basculez le logiciel BITZER en mode pompe à chaleur.
2. Utilisez les deux mêmes réfrigérants de la Partie 1 et le même modèle de compresseur.
3. Simulez des températures d'évaporation de –25 °C à +25 °C, et des températures de condensation de 45 °C à 75 °C avec des pas de 10 °C.
4. Enregistrez le COP dans les tableaux de chaque réfrigérant pour chaque combinaison de températures.

Analyse :

- Comment les performances changent-elles en conditions de source froide ?
  L'objectif principal de cette section étant le chauffage, plus la température de la source froide (température d'évaporation) est basse, plus le COP est faible.
- Quel réfrigérant fonctionne mieux à basse température de base ?
  Comme indiqué précédemment, le R134a est plus adapté aux basses températures ; cependant, lorsque la température de la source chaude augmente, le R1234ze devient plus performant, commençant ici à partir d'une Tevap de -15 °C.
- L'une ou l'autre configuration pourrait-elle être utilisée dans un DHN de 4e ou 5e génération ?
  Oui, les conditions de Tevap allant de 5 à 25 °C peuvent correspondre à un réseau de chaleur et de froid urbain (DHN) de 5ème génération en tant que pompe à chaleur locale, tandis que le reste peut fonctionner dans un DHN de 4ème génération en tant que pompe à chaleur centrale.
- Est-il possible de travailler dans toutes les conditions indiquées sur la table ? Justifiez votre réponse.
  Non, le R134a couvre les conditions de température les plus basses et le R1234ze couvre les températures les plus élevées en raison de la pression de saturation de chaque réfrigérant.

Tableau 4.19. Résultats COP pour le R134a.

Tevap/Tcond	45	55	65	75
-25	2.51	2.14	1.82	-
-15	3.07	2.59	2.20	-
-5	3.74	3.10	2.60	-
5	4.63	3.74	3.07	-
15	-	-	-	-
25	-	-	-	-

Tableau 4.20. Résultats COP pour le R1234ze.

Tevap/Tcond	45	55	65	75

-25	-	-	-	-
-15	3	2.54	2.16	1.83
-5	3.74	3.09	2.59	2.18
5	4.68	3.77	3.10	2.57
15	6.05	4.68	3.75	3.05
25	8.09	5.96	4.62	3.68

REMARQUE : Bitzer calcule non seulement le COP et l'EER, mais également la consommation électrique du compresseur, la puissance thermique et la puissance frigorifique.