SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

Co-funded by the European Union

Module 4
Réseaux de froid

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

BANQUE DE QUESTIONS

Questions d'auto-apprentissage, de révision et d'évaluation avec réponses proposées

Établissement porteur: Universitat Jaume I de Castellón
Erasmus+ KA220-HED Cooperation Partnerships in Higher Education
Version: 1.1
Date: Mai 2026

https://www.shakeproject-dhc.eu/

AUTO-APPRENTISSAGE

Répondez à au moins cinq questions de votre choix pour chaque section, en justifiant vos réponses. (Cinq questions de chaque section sont obligatoires.)

1. Systèmes de refroidissement urbain et pompes à chaleur

1. Définissez les principes fondamentaux du chauffage et du refroidissement et donnez des exemples de leurs applications.
2. Expliquez le fonctionnement des pompes à chaleur et faites la distinction avec les groupes frigorifiques.
3. Que signifie le chauffage et le refroidissement simultanés (SHC) dans les réseaux urbains ? Donnez des exemples.
4. Décrivez le rôle des pompes à chaleur dans le SHC et expliquez comment les compresseurs à vitesse variable commandés par onduleur influencent la puissance produite.
5. Expliquez les avantages et les difficultés liés à l'intégration de systèmes SHC dans les réseaux urbains.
6. Quelle est la différence entre les pompes à chaleur réversibles et non réversibles ?
7. Identifiez les principaux composants d'un système de chauffage et de refroidissement simultanés (SHC).
8. Discutez des avantages des systèmes SHC en matière d'énergie, d'économie et de flexibilité.
9. Expliquez les difficultés associées à la conception de systèmes SHC.
10. Donnez des exemples d'applications typiques du SHC dans des zones urbaines ou industrielles à usages mixtes.
11. Quelles sont les tendances futures attendues pour les systèmes SHC et les réseaux de refroidissement urbain ?

2. Technologies de refroidissement

1. Définissez ce qu'est un groupe frigorifique et expliquez son principe de fonctionnement.
2. Faites la distinction entre les groupes frigorifiques refroidis par air et ceux refroidis par eau. Présentez leurs avantages et leurs inconvénients.
3. Dessinez un schéma de principe d'un système frigorifique refroidi par eau et expliquez le transfert de chaleur.
4. Quels sont les indicateurs d'efficacité généralement utilisés pour les groupes frigorifiques ? Définissez-les.
5. Expliquez le fonctionnement des tours de refroidissement et leur rôle dans les systèmes refroidis par eau.
6. Énumérez les principales applications des groupes frigorifiques dans l'industrie et les bâtiments.
7. Décrivez le fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption.
8. Comparez les technologies de réfrigération à compression de vapeur et à absorption de vapeur.
9. Identifiez les principaux composants d'un système frigorifique à absorption et expliquez leur fonction.
10. Faites la distinction entre les systèmes à absorption NH_3-H_2O et LiBr-H_2O. Où chacun est-il utilisé ?
11. Quels sont les avantages et les inconvénients des systèmes à absorption ?
12. Définissez le COP des machines à absorption et expliquez en quoi il diffère de celui des systèmes à compression.

3. Fluides frigorigènes

1. Définissez ce qu'est un fluide frigorigène et faites la distinction entre fluides frigorigènes primaires et secondaires.
2. Expliquez la classification des fluides frigorigènes en fluides purs, azéotropiques et zéotropiques.
3. Décrivez les quatre générations de fluides frigorigènes et leur évolution au fil du temps.
4. Comparez les HFC, les HFO et les fluides frigorigènes naturels en termes d'impact environnemental.
5. Qu'est-ce que le PRG (GWP) ? Pourquoi est-il important lors de la sélection des fluides frigorigènes ?
6. Définissez le TEWI et le LCCP. Comment contribuent-ils à l'évaluation de la performance environnementale ?
7. Qu'est-ce que le TFA et comment se forme-t-il à partir de certains fluides frigorigènes ? Pourquoi constitue-t-il une préoccupation ?
8. Définissez les PFAS et discutez de leur pertinence dans le contexte des fluides frigorigènes.
9. Énumérez les principaux fluides frigorigènes naturels et expliquez les avantages et les inconvénients de chacun.
10. Décrivez la classification de sécurité des fluides frigorigènes selon la norme ASHRAE 34.
11. Expliquez comment les propriétés des fluides frigorigènes, telles que la viscosité, la conductivité thermique et le point d'ébullition, influencent la conception des systèmes.

4. Pompes à chaleur : configurations, et intégration

1. Quels facteurs doivent être pris en compte lors de la sélection d'une pompe à chaleur pour des applications de chauffage ou de refroidissement urbain ?
2. Expliquez comment les températures de fonctionnement influencent le COP d'une pompe à chaleur.
3. Décrivez différentes configurations d'intégration des pompes à chaleur dans les réseaux de chauffage urbain (DHN) et de refroidissement urbain (DCN).
4. Donnez des exemples d'applications de chauffage et de refroidissement simultanés, avec leurs plages de température et leurs technologies.
5. Discutez de l'influence de l'écart de température entre la source et le puits de chaleur sur l'efficacité énergétique.
6. Comment l'intégration avec des systèmes de stockage thermique (TES) ou de cogénération (CHP) affecte-t-elle les performances d'une pompe à chaleur ?
7. Comparez les impacts environnementaux des pompes à chaleur et des chaudières à combustibles fossiles.
8. Comment la chaleur fatale et la chaleur renouvelable peuvent-elles être utilisées pour améliorer l'efficacité des pompes à chaleur ?
9. Décrivez les avantages et les limites de l'utilisation d'éjecteurs en combinaison avec des pompes à chaleur.
10. Expliquez le concept de COP combiné et son importance pour le chauffage et le refroidissement simultanés.

5. Stockage d'énergie thermique et systèmes hybrides

1. Définissez le stockage d'énergie thermique (TES) et expliquez son rôle dans le refroidissement urbain.

2. Faites la distinction entre les systèmes TES à chaleur sensible, à chaleur latente et thermochimiques.
3. Quels sont les avantages et les inconvénients des systèmes de stockage de chaleur latente ?
4. Expliquez comment le TES peut contribuer au déplacement de la charge de pointe dans les systèmes de refroidissement.
5. Décrivez l'intégration de réservoirs TES dans les réseaux de refroidissement urbain.
6. Énumérez les principales applications dans lesquelles le TES est particulièrement avantageux.
7. Quels paramètres définissent l'efficacité de charge et de décharge des systèmes TES ?
8. Expliquez comment la combinaison de systèmes à compression de vapeur et à absorption peut augmenter l'efficacité globale du système.
9. Décrivez le concept de connexion par condenseur en cascade entre les systèmes mécaniques et à absorption.
10. Quels sont les principaux avantages et défis des systèmes frigorifiques hybrides ?

ÉVALUATION

1. Systèmes de refroidissement urbain et pompes à chaleur

Quiz (1 minute)

Vrai ou faux : les pompes à chaleur peuvent fonctionner simultanément en chauffage et en refroidissement.

Que signifie SHC dans les systèmes énergétiques urbains ?

Lequel des éléments suivants n'est pas un avantage des systèmes SHC ?

a) Meilleure efficacité énergétique

b) Augmentation de l'utilisation des combustibles fossiles

c) Réduction des émissions de carbone

d) Partage des infrastructures

Présentation du projet (2 minutes)

Titre : Chauffage et refroidissement simultanés dans des bâtiments à usages mixtes

Consignes :

1. Analysez un îlot urbain hypothétique comprenant des bureaux et des logements.
2. Concevez une solution SHC utilisant des pompes à chaleur.

Tâche d'évaluation finale (Rapport technique + analyse) (2 minutes)

Tâche : à partir des courbes de demande de chauffage et de refroidissement d'un hôpital, concevez un système SHC urbain :

Contenu :

1. Choisissez une configuration de pompe à chaleur adaptée.
2. Analysez les niveaux de température et le COP.

2. Technologies de refroidissement

Quiz (0.8 minutes)

Quelle est la principale différence entre les groupes frigorifiques refroidis par eau et ceux refroidis par air ?

Quel type de groupe frigorifique est le plus adapté aux applications industrielles de grande envergure ?

Que mesure le SEER ?

Les systèmes à absorption utilisent _____ à la place de l'électricité pour entraîner le cycle.

Présentation du projet (2 minutes)

Titre : Stratégie de refroidissement pour un centre de données

Consignes :

1. Comparez l'utilisation de groupes frigorifiques à compression de vapeur et de groupes frigorifiques à absorption.

Tâche d'évaluation finale (conception) (2 minutes)

Tâche : concevez et comparez deux systèmes de refroidissement de votre choix pour un bâtiment universitaire :

3. Fluides frigorigènes

Quiz (0.8 minutes)

Quel indicateur environnemental combine les émissions directes et indirectes ?

Vrai ou faux : les mélanges zéotropiques s'évaporent et se condensent à température constante.

Présentation du projet (2 minutes)

Titre : Sélection d'un fluide frigorigène pour un système de refroidissement urbain

Consignes :

1. Analysez les options de fluides frigorigènes (HFC, HFO, naturels).
2. Comparez les impacts environnementaux (PRG/GWP, TEWI).
3. Abordez les aspects de sécurité et la réglementation (classification ASHRAE).

Tâche d'évaluation finale (évaluation comparative) (2 minutes)

Tâche: Créer une analyse comparative du cycle de vie (LCA) entre un système de refroidissement basé sur HFO et un système de réfrigérant naturel (par exemple CO_2).

4. Pompes à chaleur : intégration et configurations

Quiz (0.8 minutes)

Que signifie COP ?

Que se passe-t-il pour le COP lorsque l'écart de température entre le puits et la source augmente ?

Citez une source renouvelable pouvant être utilisée pour alimenter une pompe à chaleur.

Présentation du projet (2 minutes)

Titre : Intégration intelligente de pompes à chaleur dans une zone industrielle

Consignes :

- Proposez une configuration reliant les pompes à chaleur aux DHN/DCN dans une zone mixte industrielle et résidentielle.

Tâche d'évaluation finale (Analyse) (2 minutes)

Tâche : analysez les performances énergétiques de trois configurations de pompes à chaleur de votre choix.

5. Stockage d'énergie thermique et systèmes hybrides

Quiz (0.8 minutes)

Quels sont les trois types de systèmes TES ?

Sur quoi repose le stockage de chaleur latente ?

Quel paramètre le SEER prend-il en compte contrairement à l'EER ?

Présentation du projet (2 minutes)

Titre : Gestion de la charge de pointe avec un TES dans une installation de refroidissement urbain

Consignes :

1. Analysez la variation de la demande de refroidissement sur un cycle de 24 heures.
2. Concevez une stratégie TES utilisant des réservoirs d'eau glacée et de glace.
3. Simulez l'écrêtement des pointes et les économies sur les tarifs.
4. Évaluez les impacts environnementaux et économiques.

Tâche d'évaluation finale (Conception et analyse) (2 minutes)

Tâche : concevez et analysez un système hybride combinant des groupes frigorifiques à compression de vapeur et une réfrigération à absorption.

CORRIGÉS DE L'ÉVALUATION

4.1. Systèmes de refroidissement urbain et pompes à chaleur

Quiz (0.8 minutes)

Vrai ou faux : les pompes à chaleur peuvent fonctionner simultanément en chauffage et en refroidissement. Vrai

Que signifie SHC dans les systèmes énergétiques urbains ?

Chauffage et refroidissement simultanés

Lequel des éléments suivants n'est pas un avantage des systèmes SHC ?

a) Meilleure efficacité énergétique

b) Augmentation de l'utilisation des combustibles fossiles

c) Réduction des émissions de carbone

d) Partage des infrastructures

4.2. Technologies de refroidissement

Quiz (0.8 minutes)

Quelle est la principale différence entre les groupes frigorifiques refroidis par eau et ceux refroidis par air ?

Les groupes frigorifiques refroidis par eau rejettent la chaleur via une boucle d'eau vers une tour de refroidissement ou un refroidisseur de fluide, ce qui permet d'obtenir une meilleure efficacité thermodynamique. Les groupes frigorifiques refroidis par air rejettent directement la chaleur dans l'air ambiant au moyen de ventilateurs mécaniques, ce qui les rend plus simples à installer mais moins efficaces lorsque la température ambiante est élevée.

Quel type de groupe frigorifique est le plus adapté aux applications industrielles de grande envergure ?

Les groupes frigorifiques centrifuges refroidis par eau, en raison de leur grande capacité frigorifique et de leur excellente efficacité en conditions de charge partielle.

Que mesure le SEER ?

Seasonal Energy Efficiency Ratio (coefficient d'efficacité énergétique saisonnier). Il mesure l'efficacité de refroidissement d'un système sur l'ensemble d'une saison, en tenant compte des variations réalistes de la température extérieure et du fonctionnement à charge partielle.

Les systèmes à absorption utilisent l'énergie thermique au lieu de l'électricité pour entraîner le cycle.

4.3. Fluides frigorigènes

Quiz (0.8 minutes)

Quel indicateur environnemental combine les émissions directes et indirectes ?

TEWI

Vrai ou faux : les mélanges zéotropiques s'évaporent et se condensent à température constante. Faux

4.4. Pompes à chaleur : intégration et configurations

Quiz (0.8 minutes)

Que signifie COP ?

Coefficient de performance

Que se passe-t-il pour le COP lorsque l'écart de température entre le puits et la source augmente ?

Il diminue. Un écart de température plus important oblige le compresseur à fournir davantage de travail mécanique pour transférer la même quantité de chaleur.

Citez une source renouvelable pouvant être utilisée pour alimenter une pompe à chaleur.

Énergie géothermique (source géothermique), énergie aérothermique (air ambiant) ou énergie solaire thermique.

4.5. Stockage d'énergie thermique et systèmes hybrides

Quiz (0.8 minutes)

Quels sont les trois types de systèmes TES ?

Stockage de chaleur sensible (par ex. réservoirs d'eau, aquifères souterrains).

Stockage de chaleur latente (par ex. stockage de glace, matériaux à changement de phase).

Stockage thermochimique de chaleur (par ex. liaisons chimiques, processus d'adsorption).

Sur quoi repose le stockage de chaleur latente ?

Il repose sur le changement de phase d'un milieu (matériaux à changement de phase – MCP), tel que le passage de l'état solide à l'état liquide (glace vers eau), qui absorbe ou libère de grandes quantités d'énergie thermique à température constante.

Quel paramètre le SEER prend-il en compte contrairement à l'EER ?

Les variations saisonnières des températures extérieures et les effets sur l'efficacité du fonctionnement à charge partielle tout au long de l'année (alors que l'EER est calculé à une température de pointe unique et fixe, à pleine charge).