SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

Co-funded by the European Union

Module 3
Production de chaleur

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

BANQUE DE QUESTIONS ET CORRIGÉ

Ressource réutilisable d'évaluation et de révision sur les technologies de production de chaleur

Établissement porteur : UJI and BME
Erasmus+ KA220-HED – Partenariats de coopération dans l'enseignement supérieur
Version: 1.1
Date: Mai 2026

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

Autoformation

Répondez à au moins cinq questions de votre choix pour chaque section en les justifiant et en expliquant pourquoi la réponse est correcte. (Cinq questions de chaque section sont obligatoires)

1. Utilisation de la chaleur résiduelle et pompes à chaleur

1. Définir la chaleur résiduelle et expliquer sa pertinence pour l'efficacité énergétique et la réduction des gaz à effet de serre.
2. Classez la chaleur résiduelle selon sa source et fournissez des exemples pour chaque catégorie.
3. Classez la chaleur résiduelle selon le niveau de température et expliquez l'utilisabilité de chaque plage.
4. Expliquez le rôle des échangeurs de chaleur dans les systèmes de récupération de la chaleur résiduelle.
5. Décrivez comment fonctionne un échangeur de chaleur à plaques et mentionnez ses principaux avantages.
6. Décrivez le fonctionnement et les applications d'un échangeur de chaleur tubes-calandre.
7. Différenciez les échangeurs air-air à plaques fixes, rotatifs et à tubes-calandre.
8. Expliquez ce qu'est un échangeur de chaleur à tubes à ailettes (économiseur) et où il est couramment utilisé.
9. Qu'est-ce qu'un échangeur de chaleur régénératif et quels sont ses avantages dans les applications à haute température ?
10. Qu'est-ce que les échangeurs de chaleur à contact direct, et quand sont-ils adaptés ?
11. Distinguez l'utilisation passive et active de la chaleur résiduelle.
12. Décrivez le cycle de Rankine à vapeur et le cycle de Rankine organique (ORC) dans le contexte de la conversion de la chaleur gaspillée en puissance.
13. Comparez les générateurs thermoélectriques et les cycles de Rankine comme des technologies de récupération de la chaleur résiduelle.
14. Décrivez comment les cycles d'absorption et de compression de vapeur sont utilisés pour produire du froid ou de la chaleur à partir de la chaleur résiduelle.
15. Expliquez la deuxième et la première loi de la thermodynamique appliquées au fonctionnement de la pompe à chaleur.
16. Décrivez le cycle de compression de vapeur idéal et identifiez ses quatre composantes principales.
17. Décrivez comment fonctionne une pompe à chaleur à l'aide d'un diagramme T-s ou P-h.
18. Classez les pompes à chaleur selon leur source de chaleur : air-air, air-eau, source sol, eau-eau, etc.

19. Expliquez la fonction et les caractéristiques des pompes à chaleur à absorption.

20. Définissez les pompes à chaleur hybrides et bi-service et expliquez dans quels contextes elles sont utilisées.

21. Qu'est-ce que les pompes à chaleur inverter et comment améliorent-elles l'efficacité du système ?

22. Classifier les pompes à chaleur en fonction de la température de sortie et offrir des applications adaptées à chaque classe.

23. Décrivez les applications industrielles et commerciales courantes des pompes à chaleur utilisant la chaleur résiduelle.

24. Listez et expliquez les principales configurations pour intégrer les pompes à chaleur avec les sources de chaleur résiduelle.

25. Comparez la connexion directe et la connexion indirecte des pompes à chaleur en termes d'avantages et de limites.

2. Systèmes combinés de chauffage et d'électricité (CHP)

1. Définissez ce qu'est un système de cogénération et expliquez la différence avec la production d'électricité traditionnelle.

2. Comparez les cycles de la CHP en termes de processus et d'applications.

3. Quels sont les avantages de la turbine à gaz de la cogénération ?

4. Quels sont les avantages du cycle vapeur de la cogénération ?

5. Expliquez la plage d'efficacité typique des systèmes de CHP et comment elle se compare aux systèmes conventionnels.

6. Listez et classez différentes technologies de CHP selon leur flexibilité et leur gamme de taille.

7. Décrivez la configuration standard d'une installation CHP et ses principaux composants.

8. Rédigez les formules pour calculer la puissance électrique, la puissance thermique, l'efficacité globale et le rapport chaleur/électricité.

9. Expliquez la différence entre le mode de cogénération complète et le mode de cogénération partielle.

10. Comment les systèmes de cogénération sont-ils intégrés dans les réseaux de chauffage urbain (DHN) ?

11. Décrivez le rôle du stockage d'énergie dans les systèmes de CHP au sein des DHN.

12. Expliquez comment les systèmes CHP aident à équilibrer les charges thermiques et électriques dans les DHN.

13. Quels sont les principaux avantages de la CHP en termes d'énergie, d'économie et d'environnement ?

14. Expliquez au moins trois défis techniques lors de l'intégration des systèmes CHP dans les DHN existants.

15. Pourquoi la redondance et la capacité de secours sont-elles importantes dans l'intégration CHP-DHN ?

16. Décrivez comment les réglementations sur les types de combustibles et les émissions influencent la conception des systèmes de CHP.

3. Aspects économiques et environnementaux de la production de chaleur dans les DHN

1. Définir et différencier entre CAPEX et OPEX dans le contexte des systèmes de production de chaleur.

2. Qu'est-ce que le coût actualisé de la chaleur (LCOH) et pourquoi est-ce un indicateur utile ?

3. Décrivez les composantes incluses dans le calcul du LCOH et écrivez la formule générale.

4. Expliquez l'importance du ROI et de la période de remboursement dans l'évaluation des projets DHC.

5. Comparez la performance économique des systèmes de cogénération par rapport aux pompes à chaleur.

6. Quels sont les principaux facteurs de coût dans les systèmes de cogénération ?

7. Quels sont les principaux facteurs de coût dans les systèmes de pompes à chaleur ?

8. Quelles sont les émissions typiques de gaz à effet de serre d'un système de cogénération à base de gaz naturel ?

9. Comment les pompes à chaleur contribuent-elles à réduire les émissions de GES dans les réseaux électriques ?

10. Discutez des impacts sur la qualité de l'air des systèmes de cogénération par rapport aux pompes à chaleur.

11. Expliquez ce que signifie l'évaluation du cycle de vie (LCA) dans les technologies de chauffage.

12. Comment les pompes à chaleur et les systèmes de CHP se comparent-ils en termes de potentiel de réchauffement climatique (GWP) ?

13. Décrivez l'impact des CHP et des pompes à chaleur sur la consommation d'eau et la pollution thermique.

14. Expliquez comment les mécanismes de tarification du carbone (ETS, taxes carbone) influencent les systèmes de production de chaleur.

15. Quel rôle jouent les subventions et les incitations dans l'adoption des CHP et des pompes à chaleur ?

16. Résumez les directives RED II et EED de l'UE ainsi que leur pertinence pour la production de chaleur.

17. Comparez les politiques soutenant les pompes à chaleur dans l'UE, la Chine et les États-Unis.

18. Décrivez les tendances récentes de la croissance du marché des pompes à chaleur et des CHP.

19. Qu'est-ce que les systèmes hybrides CHP + renouvelables et quels avantages offrent-ils ?

20. Expliquez le rôle des pompes à chaleur à haute température dans les applications industrielles.

Évaluation

Toutes les questions sont obligatoires

1. Utilisation de la chaleur résiduelle et pompes à chaleur

Quiz (2 minutes)

Exemples de questions :

Laquelle des sources suivantes est une source de chaleur perdue à basse température ?

a) Four à acier

b) Centre de données

c) Usine de fusion du verre

d) Gaz de combustion de la centrale électrique

Vrai ou faux : Un échangeur de chaleur régénératif transfère la chaleur simultanément entre deux fluides.

Quel principe thermodynamique permet aux pompes à chaleur de faire passer la chaleur du froid vers le chaud ?

a) Loi de refroidissement de Newton

b) Deuxième loi de la thermodynamique

c) Principe de Pascal

d) Le paradoxe de Carnot

Quelle technologie de pompe à chaleur permet de transférer à la fois la chaleur sensible et la chaleur latente ?

a) Échangeur de chaleur à plaques

b) Échangeur de chaleur rotatif

c) Récupérateur à plaques fixes

d) Caloduc

Présentation de projet (4 minutes)

Titre : Conception d'un système de récupération de chaleur perdue avec intégration par pompe à chaleur

Directives :

1. Sélectionnez une installation industrielle (par exemple, centre de données, brasserie, blanchisserie).

2. Identifiez un flux de chaleur résiduelle de qualité basse ou moyenne.

3. Proposez un système de récupération avec un type d'échangeur de chaleur approprié.

4. Choisissez une technologie de pompe à chaleur adaptée (air source, géothermie, absorption, etc.).

Tâche d'évaluation finale (Rapport technique + analyse) (4 minutes)

Titre de la tâche : Analyse comparative des configurations de pompes à chaleur pour l'utilisation de la chaleur résiduelle

Contenu :

1. Comparez deux types de pompes à chaleur (par exemple, air-eau vs. eau-eau) pour la récupération de chaleur résiduelle à 60°C.

2. Incluez des réponses courtes sur les avantages et les limites de chaque configuration.

2. Systèmes de cogénération (CHP)

Quiz (2 minutes)

Exemples de questions :

Dans un système de CHP à cycle amont (turbine à gaz), qu'est-ce qui est produit en premier ?

a) Vapeur

b) Électricité

c) Refroidissement

d) Eau chaude

Énumérez deux avantages de l'utilisation du CHP dans les systèmes de chauffage urbain.

Quel composant ne fait PAS partie d'une installation standard de CHP à vapeur ?

a) Générateur

b) Chaudière

c) Absorbeur

d) Échangeur de chaleur

Présentation de projet (4 minutes)

Titre : Intégration du CHP dans un réseau de chauffage urbain : faisabilité et conception

Directives :

1. Choisissez un lieu avec un DHN (réel ou hypothétique).

2. Sélectionnez une technologie de CHP (par exemple, moteur alternatif, turbine à gaz).

3. Montrez comment la chaleur récupérée est intégrée dans le DHN (dessinez un schéma).

4. Évaluer la flexibilité : comment le CHP répond-il à la demande variable ?

Tâche finale d'évaluation (Rapport technique) (4 minutes)

Titre de la tâche : Évaluation des performances et optimisation d'un système CHP

Contenu :

1. Interprétez le fonctionnement du CHP sous des modes de cogénération complète et partielle.

2. Analysez l'intégration des énergies renouvelables dans un système de CHP.

SECTION 3. Aspects économiques et environnementaux

Quiz (2 minutes)

Exemples de questions :

Quelle catégorie de coûts inclut la main-d'œuvre et la maintenance ?

a) CAPEX

b) OPEX

c) LCOH

d) ROI

Quel est l'impact attendu de l'électricité propre sur les émissions des pompes à chaleur ?

Vrai ou faux : Le LCOH ne prend en compte que les coûts d'investissement.

Présentation de projet (4 minutes)

Titre : Comparaison économique entre les systèmes de cogénération et pompes à chaleur pour le chauffage urbain

Directives :

1. Sélectionnez une ville européenne et définissez les besoins en chauffage.

2. Comparez l'investissement total, les coûts d'exploitation, le LCOH et le retour sur investissement (ROI) de :

   une solution basée sur le CHP
   Une solution à base de pompe à chaleur

Tâche finale d'évaluation (Rapport technique) (4 minutes)

Titre de la tâche : Politique et impact sur le marché sur les systèmes de production de chaleur

Contenu :

1. Discutez de la manière dont des politiques comme RED II ou la tarification du carbone influencent le déploiement des CHP et des pompes à chaleur.

Clé de réponses

Évaluation

1. Utilisation de la chaleur résiduelle et pompes à chaleur

Quiz (2 minutes)

Exemples de questions :

Laquelle des sources suivantes est une source de chaleur perdue à basse température ?

a) Four à acier

b) Centre de données

c) Usine de fusion du verre

d) Gaz de combustion de la centrale électrique

Vrai ou Faux : Un échangeur de chaleur régénératif transfère la chaleur simultanément entre deux fluides. **Faux**

Quel principe thermodynamique explique pourquoi les pompes à chaleur nécessitent un apport de travail extérieur pour transférer de la chaleur d'une région froide vers une région plus chaude ?

a) Loi de refroidissement de Newton

b) Deuxième loi de la thermodynamique

c) Principe de Pascal

d) Le paradoxe de Carnot

Quelle technologie de pompe à chaleur permet de transférer à la fois la chaleur sensible et la chaleur latente ?

a) Échangeur de chaleur à plaques

b) Échangeur de chaleur rotatif

c) Récupérateur à plaques fixes

d) Caloduc

2. Systèmes de cogénération (CHP)

Quiz (2 minutes)

Exemples de questions :

Dans un système de CHP à cycle amont (turbine à gaz), qu'est-ce qui est produit en premier ?

a) Vapeur

b) Électricité

c) Refroidissement

d) Eau chaude

Énumérez deux avantages de l'utilisation du CHP dans les systèmes de chauffage urbain.

Une efficacité énergétique globale élevée (souvent supérieure à 85-90 % grâce à la capture de l'énergie thermique gaspillée par les centrales électriques traditionnelles).

Réduction des émissions de gaz à effet de serre et des coûts énergétiques de chauffage plus faibles comparés à la production séparée de chaleur et d'électricité.

Quel composant ne fait PAS partie d'une installation standard de CHP à vapeur ?

a) Générateur

b) Chaudière

c) Absorbeur

d) Échangeur de chaleur

3. Aspects économiques et environnementaux

Quiz (2 minutes)

Exemples de questions :

Quelle catégorie de coûts inclut la main-d'œuvre et la maintenance ?

a) CAPEX

b) OPEX

c) LCOH

d) ROI

Quel est l'impact attendu de l'électricité propre sur les émissions des pompes à chaleur ?

Une réduction drastique vers zéro émission indirecte (Scope 2). À mesure que le réseau électrique passe à l'éolien, au solaire et à l'hydroélectricité, l'empreinte carbone spécifique des opérations de pompe à chaleur est en kgCO2/kWh qui approche de zéro.

Vrai ou faux : Le LCOH ne prend en compte que les coûts d'investissement. Faux