



17 EXERCICES DE STOCKAGE D'ÉNERGIE SENSIBLE

Exercice 17.5.1 : Stockage solaire saisonnier résidentiel

Les systèmes de stockage d'énergie thermique sensible saisonnier (SETS, ou en anglais SSTES) sont conçus pour collecter l'énergie solaire pendant l'été, et entreposer la chaleur pour une utilisation pendant l'hiver. L'application nécessite d'immenses volumes de stockage, préférablement bon marché; les technologies les plus prometteuses font appel à des espaces de stockage naturels sous terre et à des échangeurs de chaleur. Bien que de tels systèmes aient été construits et leur faisabilité démontrée, il est difficile de les rendre rentables.

Dans le présent exercice, l'attention se porte sur la possibilité de recueillir toute la chaleur produite par des collecteurs thermiques dans le but de couvrir une charge thermique en automne. La période de collecte se déroule d'avril à septembre (inclusivement), et on suppose que le site est situé à Sherbrooke. L'échangeur de chaleur a une efficacité maximale théorique de 70%. Cependant, l'hypothèse d'efficacité à 70% est invalide pour la durée de la recharge puisqu'avec le temps, la différence de température entre le réservoir et les collecteurs va diminuer et que la température de surface des collecteurs va augmenter (ce qui réduit progressivement le rendement). Effectuez les calculs suivants avec une efficacité saisonnière moyennée de 45% (en réalité, elle sera beaucoup moindre à la fin). Conceptuellement, imaginez que l'eau des collecteurs est injectée dans un réservoir et qu'un échangeur liquide-liquide est immergé dans ce dernier.

Données :

- $C_p = 4\,200 \text{ J/kgK}$, chaleur spécifique de l'eau ;
- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, densité de l'eau constante ;

QUESTIONS

Question 1 : Quelle est la quantité totale d'énergie recueillie par une installation de 100 m^2 exposée au Sud et inclinée à 45° (en kWh, sans décimale)? Quelle serait la valeur de cette énergie à un coût marginal de $0,09\$/\text{kWh}$? (rappel : on recueille TOUTE la chaleur produite par les collecteurs thermiques). Utilisez PV Watt.

Question 2 : Cette énergie est acheminée à un réservoir d'eau souterrain étanche et adiabatique initialement rempli d'eau à 6°C . Pour une application de chauffage de plancher radiant, on désire chauffer l'eau au maximum à 46°C . Quelle serait la taille du réservoir requis (en m^3 , sans décimale)?

Question 3 : Que se passerait-il si on désirait obtenir une température plus élevée dans le réservoir? Quelle est la ou les limitations de cette solution?

RÉPONSES

Question 1 : Quelle est la quantité totale d'énergie recueillie par une installation de 100 m² exposée au Sud et inclinée à 45° (en kWh, sans décimale)? Quelle serait la valeur de cette énergie à un coût marginal de 0,09\$/kWh? (rappel : on recueille TOUTE la chaleur produite par les collecteurs thermiques). Utilisez PV Watt.

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	2.79	300	N/A
February	3.80	365	N/A
March	5.06	513	N/A
April	4.92	450	N/A
May	5.26	484	N/A
June	4.94	437	N/A
July	5.40	485	N/A
August	5.26	476	N/A
September	4.97	438	N/A
October	3.48	334	N/A
November	2.83	274	N/A
December	2.10	224	N/A
Annual	4.23	4,780	0

L'énergie solaire cumulative qui atteint les 100 m² de surface du collecteur d'avril à octobre est 93 840 kWh. La valeur de cette énergie atteindrait 8446\$ si elle pouvait TOUTE être récupérée.

q_apr = 4.92 //Solar radiation kWh/m2/day

q_may = 5.26

q_june = 4.94

q_jul = 5.40

q_aug = 5.26

q_sept = 4.97

$E = A * (q_{apr} * 30 + q_{may} * 31 + q_{june} * 30 + q_{jul} * 31 + q_{aug} * 31 + q_{sept} * 30)$

//Average energy falling on a flat surface 45o, full south, in kWh

Value = 0.09 * E

Etot = 4.23 * 365 * 100

Notons que si on décide de changer l'eau pour du glycol, il serait possible de récupérer de l'énergie toute l'année et que la quantité serait alors de 154 400 kWh. Mais, si vous faites bouillir votre glycol, il faut le changer et nettoyer ce qui coûte cher et la solution du glycol coûte aussi cher à acheter (il faudrait un troisième circuit thermique et donc deux échangeurs au lieu d'un seul).

Question 2 : Cette énergie est acheminée à un réservoir d'eau souterrain étanche et adiabatique initialement rempli d'eau à 6°C. Pour une application de chauffage de plancher radiant, on désire chauffer l'eau au maximum à 46°C. Quelle serait la taille du réservoir requis (en m³, sans décimale)?

La quantité d'énergie récupérée serait en moyenne de 45% de celle qui est reçue par les collecteurs. Pour être précis, il faudrait déterminer l'efficacité variable en une fonction de la différence de température entre le réservoir et le collecteur et calculer les pertes convectives et radiatives. Pour le niveau de précision souhaité, une efficacité moyenne (non pondérée) est employée.

$$\text{Eff} = 0.45$$

$$\text{Eutil} = E * \text{Eff}$$

$$\text{Value_util} = 0.09 * \text{Eutil}$$

$$\text{Eutil_J} = \text{Eutil} * 3600 * 1000$$

//Il y a 3600 J dans un Wh et donc 3600*1000J dans un kWh

$$\text{Eutil_J} = \text{Meau} * \text{cp} * \Delta T \quad // \text{La masse d'eau est kg}$$

$$\Delta T = 40 \quad // \text{Maximum température difference in the reservoir, } ^\circ\text{C}$$

$$\text{cp} = 4200 \quad // \text{Specific heat, J/kgK}$$

$$\text{Rho} = 1000 \quad // \text{densité de l'eau kg/m}^3$$

$$\text{Meau_tonnes} = \text{Meau} / 1000$$

$$\text{Meau_volume} = \text{Meau} / \text{rho}$$

Ainsi, l'énergie récupérée ou utile est-elle simplement 42 230 kWh et sa valeur si elle devait être fournie par des résistances électriques serait de 3801\$. Environ 3 800\$.

Ces 42 230 kWh sont égaux au produit de la masse d'eau par sa chaleur spécifique par la différence de température imposée, Ceci (avec conversion adéquate en J d'après des kWh) donne 904,9 tonnes ou m³ d'eau (on suppose une densité constante à 1000 kg/m³).

Cependant, il faut savoir que de la chaleur ne pourrait être retirée en théorie de ce réservoir que jusqu'à ce qu'il soit à une température de 26°C environ. C'est la température d'alimentation classique des planchers chauffants. Donc, seule la moitié de l'énergie pourrait être retirée SANS l'usage d'une pompe à chaleur. Il faut ajouter que le débit dans le circuit secondaire qui alimente le plancher devrait être abaissé progressivement avec la baisse de la température du réservoir. L'eau de ce circuit devra progressivement séjourner plus longtemps dans le réservoir pour se charger à 26°C.

Question 3 : Que se passerait-il si on désirait obtenir une température plus élevée dans le réservoir? Quelle est la ou les limitations de cette solution?

Si on désire une température plus élevée, le rendement va baisser. En fait, si on pouvait charger indéfiniment le réservoir, théoriquement, il atteindrait la température de surface du collecteur qui émettrait autant d'énergie qu'il en reçoit. Sa température d'équilibre théorique pourrait être calculée en égalant le taux de transfert qui le frappe à la somme des pertes convectives et radiatives à l'environnement. Mais cela est inutile, car cela ne peut se produire tant que de l'eau circule dans le collecteur. Lorsqu'une panne de pompe survient, il faut faire vite pour éviter de faire bouillir le caloporteur et risquer un bris de conduite (il y a en général un réservoir d'expansion prévu).

La solution proposée ici fait abstraction de toutes les pertes. Il faut considérer que les 900 tonnes d'eau à 46°C sont très susceptibles de perdre de l'énergie au sol (Une isolation parfaite est impossible techniquement, du moins financièrement).

Toute cette analyse en régime permanent constitue une estimée très préliminaire, il faudrait une modélisation horaire du système en régime transitoire sur les quelque 182 jours (6 mois ou 4380 heures) de période de recharge, prendre en compte la variation de : l'irradiance, les échanges radiatifs, les pertes convectives, l'efficacité variable du collecteur, les pertes dans la tuyauterie et les pertes dans le réservoir.

Enfin, 900 tonnes d'eau constituent un réservoir de TRÈS grande taille pour alimenter une résidence. Imaginez le coût de ce réservoir de plus du tiers d'une piscine olympique de 2 x 25 x 50.

Ce problème mérite l'approfondissement !