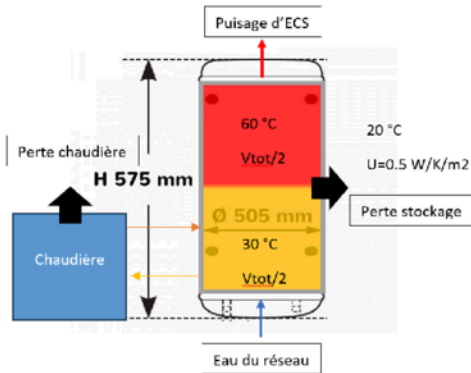


TD3 de Génie Energétique

Système ECS

- I. (*) Soit un système énergétique composé d'un ballon de stockage d'ECS et une chaudière. Le stockage est caractérisé par deux sous-volumes égaux dont la partie supérieure est à 60 °C et la partie inférieure est à 30 °C. Il est isolé avec un coefficient de transmission global de 0.5 W/K/m². Il subit des pertes avec l'environnement dont la température ambiante est de 20 °C. L'eau chaude du stockage à 60 °C est mélangée avec de l'eau du réseau à 15 °C pour obtenir une température de puisage en sortie du robinet à 40 °C et avec un débit de puisage de 5 l/min. La chaudière permet de produire de la chaleur dans le but de la stockée dans le ballon avec un rendement de 90.6 %.



Questions : Au cours d'une journée : 1 / Déterminer l'énergie thermique perdue par le stockage ; 2/ Quantifier l'énergie puisée par les utilisateurs pour un volume total de 100 litres ; 3/Déterminer l'énergie stockée dans le ballon de stockage ; 4/ Réaliser un bilan sur le stockage pour calculer l'énergie produite par la chaudière et 5/ Calculer le temps nécessaire pour obtenir cette quantité d'énergie sachant que la chaudière a une puissance de 1kW.

Solutions :

1. Calcul la puissance thermique perdue par le stockage :

$$A_{ballon,60^{\circ}C} = A_{ballon,30^{\circ}C} = \pi * D * H_{ballon,30^{\circ}C} = 3.14 * 0.505 * \frac{0.575}{2} = 0.456 \text{ m}^2$$

L'énergie perdue est de :

$$Q_{perte} = U * A * \Delta T * t$$

Avec

U est le coefficient de transfert thermique global en $W/m^2 \cdot K$.

A est la surface de l'échange thermique en m^2 .

ΔT est la différence de température entre l'eau et l'air ambiant en $^{\circ}C$.

t est le temps en secondes (s).

d'où

$$Q_{perte} = U * \left(A_{ballon, 30^{\circ}C} * (T_{ballon, 60^{\circ}C} - T_{amb}) + A_{ballon, 60^{\circ}C} * (T_{ballon, 30^{\circ}C} - T_{amb}) \right) * t \\ = 0.5 * (0.456 * (60 - 20) + 0.456 * (30 - 20)) * 24 = 0.274 kWh$$

2. Déterminer l'énergie d'eau chaude sanitaire puisée :

$$Q_{puis} = \rho * c_p * V_{puis} * (T_{puis} - T_{IN}) = 1000 * 4.185 * (0.1 * (40 - 15)) / 3600 = 2.906 kWh$$

3. Calculons l'énergie stockée :

$$V_{60} = V_{30} = \pi * R^2 * H = \pi * \left(\frac{0.505}{2} \right)^2 * \frac{0.575}{2} = 0.0575 m^3$$

L'énergie stockée dans le ballon de stockage est exprimée par :

$$Q_{stock} = \rho * c_p * V_{ballon} * \Delta T$$

Avec

ρ est la masse volume de l'eau en kg/m^3 .

c_p la capacité calorifique de l'eau en $W/K/kg$

V est le volume du stockage en m^3 .

ΔT est la différence de température entre l'eau stockée et l'eau du réseau (ER) en $^{\circ}C$.

$$Q_{stock} = \rho * c_p * (V_{ballon, 30^{\circ}C} * (T_{ballon, 60^{\circ}C} - T_{ER}) + V_{ballon, 60^{\circ}C} * (T_{ballon, 30^{\circ}C} - T_{ER})) \\ = 1000 * 4.185 * (0.0575 * (60 - 15) + 0.0575 * (30 - 15)) / 3600 = 4.016 kWh$$

4. Pour déterminer l'énergie produite par la chaudière, on réalise en bilan énergétique sur le ballon de stockage :

$$Q_{ECS} = (Q_{stock} - Q_{puis} - Q_{perte}) = (4.016 - 2.906 - 0.274) = 0.836 kWh$$

L'énergie produite par la chaudière tient compte de son rendement :

La puissance pour reconstituer le stockage est plus faible.

3. L'énergie stockée est maintenant de :

$$\begin{aligned} Q_{stock} &= \rho * c_p * \left(V_{ballon,30^{\circ}C} * (T_{ballon,30^{\circ}C} - T_{ER}) + V_{ballon,60^{\circ}C} * (T_{ballon,60^{\circ}C} - T_{ER}) \right) \\ &= 1000 * 4.185 * (0.0575 * (60 - 20) + 0.0575 * (30 - 20)) / 3600 = 3.342 \text{ kWh} \end{aligned}$$

L'énergie perdue est cependant identique car les températures dans le stockage ne changent pas.

4. Pour déterminer l'énergie produite par la chaudière, on réalise en bilan sur le ballon de stockage :

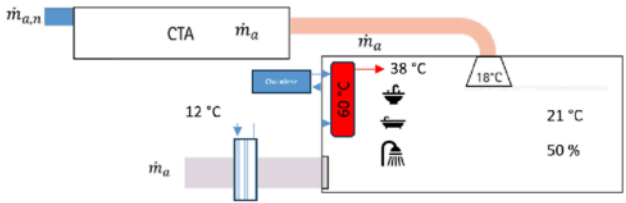
$$Q_{ECS} = (Q_{stock} - Q_{puis} - Q_{perte}) = (3.342 - 2.325 - 0.274) = 0.743 \text{ kWh}$$

L'énergie produite par la chaudière tient compte de son rendement :

$$Q_{chaudière} = Q_{ECS} / \eta = 0.743 / 0.906 = 0.820 \text{ kWh}$$

Nous observons un gain sur l'énergie produite de $1 - 0.820 / 0.923 = 11.2 \%$

III. (***) **SYSTEME MIXTE** : Soit un bâtiment composé d'une centrale d'aération de l'air pour assurer le traitement de l'air et d'un système d'ECS pour satisfaire les besoins d'eau chaude. On souhaite obtenir des conditions intérieures de 21 °C et 50 % en soufflant de l'air à une température est de 18 °C. A l'extérieur, nous avons une température de 32 °C et une humidité relative de 60 %. De plus, le système ECS est constitué d'un ballon de 100 litres à 60 °C et d'une PAC avec un COP de 2.75. L'eau du réseau (12 °C) est préchauffée à partir d'un échangeur de chaleur à ailette qui récupère l'énergie de l'air vicié avec une efficacité de 60 % pour l'injecter dans le stockage.



Questions : 1/ Dimensionner les composants du système de traitement de l'air ; 2 / Déterminer l'énergie produite par la PAC sur une journée avec une puissance thermique d'1kW. **Données :** on suppose que les apertures thermiques sont de 9 kW et les apports hydriques de 2 gv/s. Le débit d'ECS est de 3 l/min pendant le puisage et un volume puisé pendant une journée est de 80 litres à la température de 38 °C.

Solutions :

1. On va dimensionner le système de traitement de l'air pour assurer les conditions intérieures

Caractéristiques de l'air intérieur et extérieur :

Point intérieur	$T_{int}=21^{\circ}\text{C}$	$w_{in}=0.0077\text{ kgv/kgas}$	$h=40.7\text{ kJ/kgas}$	$HR_{in}=50\%$
Point extérieur	$T_{ext}=32^{\circ}\text{C}$	$w_{ext}=0.0178\text{ kgv/kgas}$	$h=78.0\text{ kJ/kgas}$	$HR_{ext}=60\%$

Conditions de l'air insufflé

Il faut ensuite calculer les charge thermique et hydrique :

$$M_0 = 2\text{ g}_{eau}/s$$

$$H_0 = 9\text{ kW}$$

On obtient le facteur $J = H_0/M_0 = 9/2 = 4.5\text{ kJ/g}_{eau}$

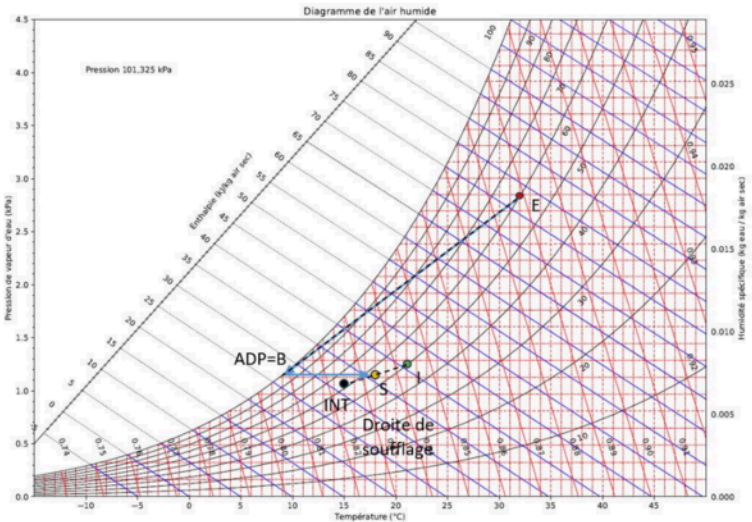
On peut déterminer graphiquement les caractéristiques du point intermédiaire :

Point INT	$T_s=19.1^{\circ}\text{C}$	$w_s=0.0067\text{ kgv/kgas}$	$h_s=36.2\text{ kJ/kgas}$	$HR_s=49\%$
-----------	----------------------------	------------------------------	---------------------------	-------------

On peut déterminer les caractéristiques du point S :

Point S	T _s =18°C	w _s =0.0071kgv/kgas	h _s =36.1 kJ/kgas	HR _s =55.6%
---------	----------------------	--------------------------------	------------------------------	------------------------

Représentation graphique :



On peut déterminer le débit de l'air en appliquant la formule :

$$\dot{m}_{air} * (h_I - h_S) = H_0$$

On a alors :

$$\dot{m}_{air} = \frac{H_0}{(h_I - h_S)} = \frac{9}{(40.7 - 36.1)} = 1.96 \text{ kg/s}$$

On peut déterminer les caractéristiques du point B sachant que HR_B=100 % et w_B=w_S :

Point B	T _b =9.0°C	w _b =0.0071kgv/kgas	h _b =26.9 kJ/kgas	HR _b =100%
---------	-----------------------	--------------------------------	------------------------------	-----------------------

Puissance et le débit d'eau condensé de la BFH :

On passe du point E à S, il faut une batterie froide humide et une batterie chaude. L'humidité de l'ADP est de 100 % et on lit que la température T_{ADP} donc il faut fixer une température de l'eau moyenne de la batterie froide humide de 14 °C.

On détermine les puissances de batteries et le débit d'eau condensé.

$$\dot{Q}_{BFH} = \dot{m}_{air} * (h_B - h_E) = 1.96 * (26.9 - 78.0) = -100.16 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{air} * (w_B - w_E) = 1.96 * (0.0071 - 0.0178) = -0.021 \text{ kg}_{eau}/\text{kg}_{as}$$

$$\dot{Q}_{BC} = \dot{m}_{air} * (h_S - h_B) = 1.96 * (36.1 - 26.9) = 18.03 \text{ kW}$$

2. On va déterminer la puissance de la chaudière

Le système ECS permet de récupérer l'énergie de l'air vicié pour augmenter la température de l'eau du réseau afin de l'injecter dans le stockage. On va déterminer la température en entrée du ballon puis l'énergie produite par la PAC.

Température en entrée du ballon de stockage :

$$\epsilon = \frac{\dot{m}_{puis} * c_{p_{eau}} * (T_{air} - T_{IN\ BL})}{\dot{m}_{air} * c_{p_{air}} * (T_{air} - T_{ER})} = 0.6$$

Application numérique :

$$\begin{aligned} T_{IN\ BL} &= T_{air} - \epsilon * \frac{\dot{m}_{air} * c_{p_{air}}}{\dot{V}_{puis} * \rho * c_{p_{eau}}} * (T_{air} - T_{ER}) = 21 - 0.6 * \frac{0.1 * 1000}{1 * \frac{3}{60} * 4185} * (21 - 12) \\ &= 18.4^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Calcul de l'énergie d'eau chaude sanitaire puisée :

Sur une journée, la consommation d'un foyer de deux personnes est fixée à 80 litres :

$$Q_{puis} = \rho * c_p * V_{puis} * (T_{puis} - T_{IN}) = 1000 * 4.185 * (0.08 * (38 - 18.4))/3600 = 1.82 \text{ kWh}$$

Déterminer l'énergie stockée :

L'énergie stockée dans le ballon d'ECS est :

$$Q_{stock} = \rho * c_p * V_{ballon} * (T_{ECS} - T_{IN}) = 1000 * 4.185 * (0.1 * (60 - 18.4))/3600 = 4.84 \text{ kWh}$$

Calcul de l'énergie à produire par la chaudière :

En réalisant un bilan énergétique sur le ballon de stockage et en négligeant les pertes thermiques, l'énergie en entrée du ballon est de :

$$Q_{ECS} = (Q_{stock} - Q_{puis} - Q_{perte}) = (4.84 - 1.82 - 0) = 3.02 \text{ kWh}$$

Calcul de l'énergie à produire par la chaudière :

L'énergie produite par la PAC tient compte des pertes dans les boucles de distribution, qui sont isolés donc nulles dans notre cas d'étude.

$$Q_{thm,PAC} = Q_{ECS} - Q_{distribution} = 3.02 - 0 = 3.02 \text{ kWh}$$

Pour une PAC d'1kW, il faudra 3.02 h pour remplir le ballon de stockage.

La quantité d'énergie électrique nécessaire pour alimenter la PAC est de :

$$Q_{elec,PAC} = Q_{thm,PAC}/COP = 3.02/2.75 = 1.10 \text{ kWh}$$

Annexe 1 : Diagramme de l'air humide

