

Installations de récupération de chaleur: un climat d'étable optimal en été également

Markus Sax, Ludo Van Caenegem et Matthias Schick

Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8356 Ettenhausen

Renseignements: Markus Sax, e-mail: markus.sax@art.admin.ch, tél. +41 52 368 32 81



Figure 1 | Echangeur thermique double dans une halle d'engraissement de volaille. (Photo: ART)

Introduction

Les températures extérieures élevées perturbent le climat de nombreuses porcheries et halles d'engraissement de volaille. L'acuité de ce problème augmente avec le réchauffement climatique. Les températures élevées dans les étables sont sources de stress pour les animaux et peuvent entraîner des baisses de rendement. En outre, elles accroissent les émissions de gaz polluants, ce qui nuit à l'environnement. Il peut valoir la peine de réduire les pertes de rendements dues à la chaleur en faisant baisser la température de l'air à l'intérieur de l'étable grâce à des dispositifs de refroidissement. Les procédés techniques les plus répandus sont le refroidissement de l'air ambiant à l'aide d'installations de nébulisation à haute pression

(refroidissement évaporatif) dans l'étable ou le refroidissement de l'air entrant au moyen d'échangeurs de chaleur thermique. Ces derniers permettent de compenser les températures extérieures élevées dans l'air entrant aussi bien que les basses températures. Ils nécessitent cependant de gros investissements. Leur potentiel de refroidissement diminue considérablement lorsque les vagues de chaleur durent longtemps, car le terrain alentour emmagasine une partie de la chaleur extraite de l'air entrant. L'efficacité du refroidissement évaporatif, meilleur marché, est limitée par le point de saturation (100 % d'humidité relative) de l'air de l'étable. La combinaison des installations d'humidification et de récupération de chaleur (RC) offre une nouvelle possibilité de refroidir l'air des étables. Les installations traditionnelles de récupération

de chaleur air-air ne sont utiles que lorsque les températures extérieures sont basses et que le dégagement de chaleur sensible des animaux ne suffit pas à équilibrer le bilan énergétique thermique. Lorsque la température de l'étable dépasse la valeur limite, l'échangeur thermique de la RC est court-circuité par un bypass, pour empêcher la température de l'étable de continuer à augmenter.

L'air peut être humidifié de différentes façons dans les installations RC. Selon que l'humidification a lieu dans l'air entrant ou l'air sortant, le refroidissement de l'air entrant se fera de manière diabatique* ou à la fois de manière diabatique et adiabatique. Contrairement au refroidissement adiabatique de l'air entrant, son refroidissement diabatique n'entraîne pas une augmentation de la teneur en eau de l'air de l'étable. A quel point l'air de l'étable doit-il être refroidi ou réchauffé? Cela dépend du rendement thermique et par conséquent de la taille de l'échangeur de chaleur. Pour calculer les coûts et les bénéfices, la température de l'étable doit être quantifiée par rapport au rendement de l'installation ainsi qu'aux caractéristiques du bâtiment, des animaux et du climat. Un modèle de calcul dynamique a été conçu à cet effet. La faisabilité technique et économique d'installations de récupération de chaleur de ce type sera testée ultérieurement sur un site pilote.

Matériel et méthode

Principe d'action

Suivant où se produit l'humidification de l'air, soit dans l'air entrant, soit dans l'air sortant, on peut distinguer trois variantes. En cas d'humidification de l'air sortant (variante RC As, fig. 2, à gauche), le refroidissement de

*Transformation diabatique: processus thermodynamique, lors duquel un transfert thermique est effectué entre le système étudié et le milieu extérieur.

Transformation adiabatique: en thermodynamique, une transformation est dite adiabatique si elle est effectuée sans qu'aucun transfert thermique n'intervienne entre le système étudié et le milieu extérieur.

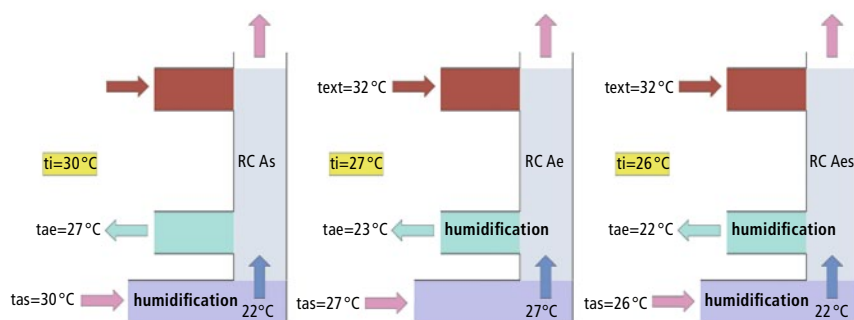


Figure 2 | Représentation schématique des différentes variantes de RC avec refroidissement adiabatique et/ou diabatique. (ti: température de l'étable, text: température extérieure, tae: température de l'air entrant, tas: température de l'air sortant).

Résumé Les installations classiques de récupération de chaleur air-air (RC) ne sont utiles que lorsque les températures extérieures sont basses, tant qu'il est nécessaire de chauffer l'étable. L'incorporation d'un dispositif de nébulisation à haute pression dans la RC permet de refroidir également l'air entrant avec l'échangeur thermique. Le fait d'humidifier l'air sortant jusqu'à saturation avant qu'il ne passe par l'échangeur thermique permet de faire baisser sa température d'environ 10 Kelvin. Pour ce faire, la chaleur est prélevée dans l'air entrant à l'aide de l'échangeur thermique. Plus le rendement thermique de l'échangeur est élevé, plus le refroidissement de l'air entrant est efficace. Ce procédé diabatique augmente toutefois la teneur en eau de l'air de la porcherie. C'est le cas lorsque l'air entrant est humidifié à sa sortie de l'échangeur thermique. Contrairement à la nébulisation haute pression dans la porcherie, le refroidissement ne se fait pas intégralement de manière adiabatique en cas d'utilisation d'une installation de récupération de chaleur avec humidification de l'air entrant et sortant. En effet, une partie de la baisse de température obtenue dans la porcherie se fait de manière diabatique, par échange de chaleur entre l'air sortant et l'air entrant. Un modèle de calcul dynamique permet de déterminer la réduction de température à l'intérieur de la porcherie. La combinaison d'un dispositif de nébulisation haute pression et d'un échangeur thermique plus grand qui doit également suffire pour les débits d'air en été entraîne des coûts supplémentaires. Par ailleurs, l'installation est plus simple puisque les clapets et cheminées de by-pass deviennent superflus. En outre, le refroidissement peut également réduire le débit d'air maximal et par conséquent, la consommation des ventilateurs. L'installation est-elle en mesure de répondre aux attentes économiques, écologiques et à celles liées au climat d'étable? Cette question fera l'objet de tests dans une installation pilote.

$$t_{i,\text{référence}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot t_a}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i,\text{RC As}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot [t_a - \eta_{\text{WRG}} \cdot (t_a - (t_i - \frac{W_{ab} \cdot 680}{V \cdot 0,28 \cdot \rho}))] - \eta_{\text{WRG}} \cdot W_{ab} \cdot 1,}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i,\text{RC Ae}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot [t_a - \eta_{\text{WRG}} \cdot (t_a - t_i) - \frac{W_{zu} \cdot 680}{V \cdot 0,28 \cdot \rho}] - W_{zu} \cdot 1,16 \cdot (t_i - t_w)}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i,\text{RC Ase}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot [t_a - \eta_{\text{WRG}} \cdot (t_a - (t_i - \frac{W_{ab} \cdot 680}{V \cdot 0,28 \cdot \rho})) - \frac{W_{zu} \cdot 680}{V \cdot 0,28 \cdot \rho}] - (\eta_{\text{WRG}} \cdot W_{ab} + W_{zu} \cdot 1,16 \cdot (t_i - t_w))}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i,\text{NHP}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot t_a - W_{\text{HDV}} \cdot 680 - W_{\text{HDV}} \cdot 1,16 \cdot (t_i - t_w)}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i,\text{ETS}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot (t_a - \eta_{\text{EWT}} \cdot (t_a - t_b))}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$t_{i,\text{référence}}$: Température à l'intérieur de l'étable de référence (sans traitement de l'air entrant) °C	t_a : Température extérieure °C
$t_{i,\text{RC As}}$: Température à l'intérieur de l'étable avec RC As (humidification de l'air sortant) °C	t_b : Température de la terre autour des tuyaux ondulés °C
$t_{i,\text{RC Ae}}$: Température à l'intérieur de l'étable avec RC Ae (humidification de l'air entrant) °C	t_e : Température de l'eau de l'installation d'humidification °C
$t_{i,\text{RC Ase}}$: Température à l'intérieur de l'étable avec RC Ase (humidification de l'air entrant et sortant) °C	q_T : Pertes par transmission W/ °C
$t_{i,\text{NHP}}$: Température à l'intérieur de l'étable avec NHP (nébulisation haute pression) °C	V : Taux de ventilation m ³ /h
$t_{i,\text{ETS}}$: Température à l'intérieur de l'étable avec ETS (échangeur thermique souterrain) °C	ρ : Densité de l'air kg/m ³
H_s : dégagement de chaleur sensible des animaux (dépend de t_i) W	E_{as} : Quantité d'eau pulvérisée dans l'air sortant kg/h
	Q_{ae} : Quantité d'eau pulvérisée dans l'air entrant kg/h
	E_{NHP} : Quantité d'eau pulvérisée dans l'air de l'étable kg/h
	η_{RC} : Rendement thermique de l'installation de récupération de chaleur %
	η_{ETS} : Rendement thermique de l'échangeur thermique souterrain %

l'air entrant s'effectue de manière totalement diabatique par échange de chaleur dans l'échangeur thermique (fig. 3). Il suffit d'avoir un échangeur thermique à récupération. Dans ce type d'échangeur thermique, les flux d'air sortant et entrant se croisent sans échange d'air ni d'humidité (ex. échangeur thermique à contre-courant). De ce fait, l'humidification de l'air sortant ne fait pas augmenter la teneur en eau de l'air à l'intérieur de l'étable. Par conséquent, l'air sortant peut être enrichi en eau jusqu'à ce qu'il ait atteint le point de saturation. Le refroidissement de l'air sortant dépend de l'humidité relative de l'air à l'intérieur de l'étable et donc de l'air sortant. Cette dernière dépend quant à elle du climat

extérieur, de l'effectif animal et du taux d'aération. Il est possible de réduire la température de l'air sortant de 10 Kelvin environ.

Au lieu d'humidifier l'air sortant, on peut aussi humidifier l'air entrant (variante RC Ae, fig. 2, au centre). Contrairement à la variante RC As, l'humidification de l'air entrant augmente la teneur en eau de l'air amené et donc l'humidité relative de l'air à l'intérieur de l'étable. Afin que l'humidité relative de l'air de l'étable ne dépasse pas une valeur seuil (par exemple 70 %), il est conseillé de limiter la quantité d'eau vaporisée dans l'air entrant. L'eau peut également être nébulisée par des buses à haute pression dans l'ensemble de l'étable. La

Tableau 1 | Bases de calcul utilisées dans l'exemple (fig. 3 à 6)

Température ext.	32 °C
Humidité relative ext.	40 %
Humidité relative max. autorisée dans l'étable	70 %
Effectif animal	600 porcs à l'engrais de 100 kg
Pertes de transmission du bâtiment	257 W/°C
Température de l'eau vaporisée	20 °C

variante RC Ae se distingue toutefois de la nébulisation classique à haute pression dans l'air ambiant, par le fait que l'air entrant est prérefroidi de manière diabatique dans l'échangeur thermique, à condition bien entendu que la température de l'étable soit inférieure à la température extérieure.

Dans une installation avec humidification de l'air entrant et sortant (RC Ase, fig. 2, à droite), l'humidité relative de l'air sortant est saturée jusqu'à 100 %. L'humidité relative de l'air entrant ne peut cependant pas réellement être augmentée jusqu'à 100 %, sans quoi l'humidité relative de l'air de l'étable augmenterait trop. Cette variante permet toutefois d'exploiter au maximum le potentiel de refroidissement adiabatique et diabatique de la RC.

Bases de calcul

Le modèle de simulation associe les paramètres de réglage ci-dessous:

- dégagement de chaleur sensible et latent des animaux
- climat intérieur et extérieur
- pertes de chaleur par transmission (enveloppe du bâtiment)
- aération (pertes d'aération)
- rendement thermique de l'installation de récupération de chaleur.

Ces paramètres permettent d'étudier l'influence de l'humidification de l'air entrant et sortant dans l'installation de récupération de chaleur sur le climat de l'étable. L'abaissement de la température de l'air à l'intérieur de l'étable sous l'effet de la RC peut être comparé au refroidissement de l'air par d'autres procédés comme l'échangeur de chaleur souterrain (ECS) ou la nébulisation haute pression (NHP).

La température de l'étable étant à la fois valeur cible et facteur d'influence, le calcul est basé sur un procédé itératif. Les conditions cadres du refroidissement sont les suivantes: humidité relative maximale autorisée dans l'étable, point de saturation de l'air et rendement thermique de l'installation de récupération de chaleur. Dans une plage de 10 à 20 °C, la température de l'eau pulvérisée n'a que très peu d'influence sur la température de l'étable (< 0,1 °C).

Exemple de calcul

L'exemple porte sur une porcherie d'engraissement (tabl. 1). Les calculs ne prennent pas en compte l'inertie thermique du bâtiment (flux thermique stationnaire). Dans la porcherie de référence, l'air entrant n'est pas humidifié. >

**Figure 3** | Echangeur thermique dans une halle d'engraissement de volaille.

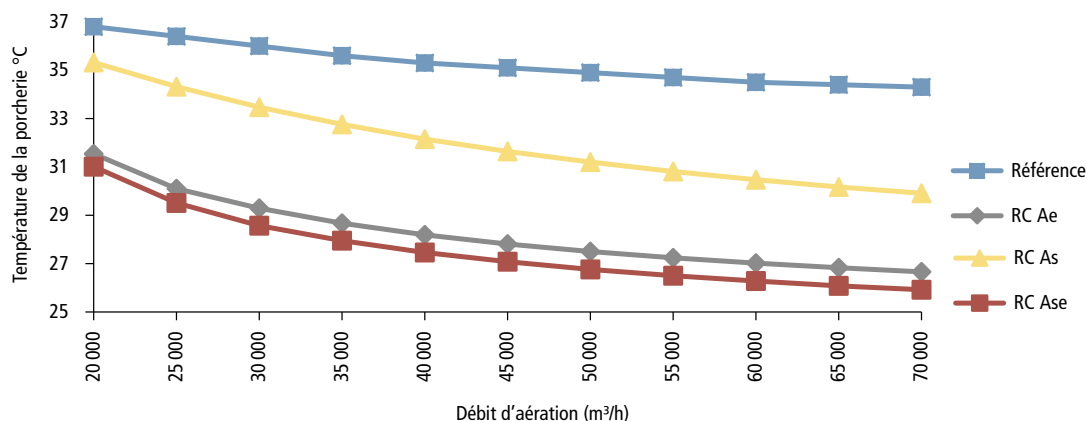


Figure 4 | Températures de la porcherie avec les variantes de RC comparées avec la porcherie de référence. Rendement thermique de l'échangeur de chaleur 50 %.

Résultats et discussion

Comparaison entre l'humidification de l'air entrant et de l'air sortant

Avec la variante RC As, la température de l'air sortant peut être abaissée à 21,8 °C avec un débit d'air de 60 000 m³/h, à condition que l'humidité relative de l'air sortant soit augmentée à 100 %. La température de l'air entrant baisse de 32 °C (température extérieure) à 26,9 °C, lorsque le rendement de l'échangeur thermique est de 50 %. Grâce à ce refroidissement, la température de la porcherie (30,5 °C) se situe environ 1,5 Kelvin en dessous de la température extérieure (fig. 4). Sans RC As, la température de la porcherie serait de 34,5 °C et l'humidité relative de l'air à l'intérieur de 48,3 % (fig. 5).

L'humidification de l'air entrant (RC Ae) est limitée par deux facteurs: d'une part, la capacité maximale d'absorption d'eau de l'air entrant et d'autre part, l'humidité relative maximale autorisée dans la porcherie (70 %). Avec un débit d'air de 60 000 m³/h, la température de l'air entrant est de 22,8 °C et la température de la porcherie de 27,0 °C (fig. 4). La température de la porcherie se situe environ 3,5 Kelvin en dessous de la température obtenue avec l'installation RC As, mais l'humidité relative est toutefois 21,7 % plus élevée (fig. 5). Afin que l'humidité relative de l'air de la porcherie ne dépasse pas la valeur seuil (70 %), l'humidité relative de l'air entrant à la sortie de l'échangeur thermique ne doit pas dépasser 83,5 %.

Si l'air entrant et l'air sortant sont tous deux refroidis de manière adiabatique (RC Ase), la température de la

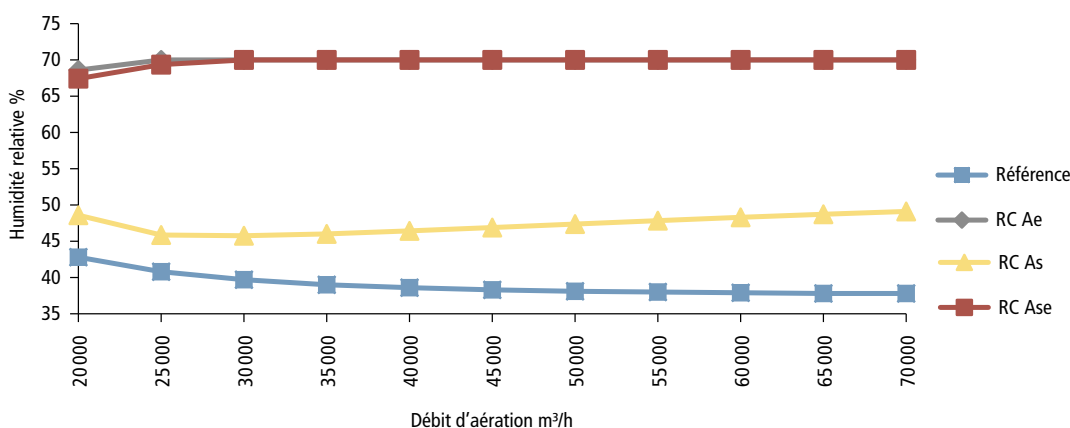


Figure 5 | L'humidité relative de la porcherie de référence et de la variante RC As est nettement plus basse que celle des deux autres variantes (RC Ae, RC Ase). Rendement thermique de l'échangeur de chaleur 50 %.

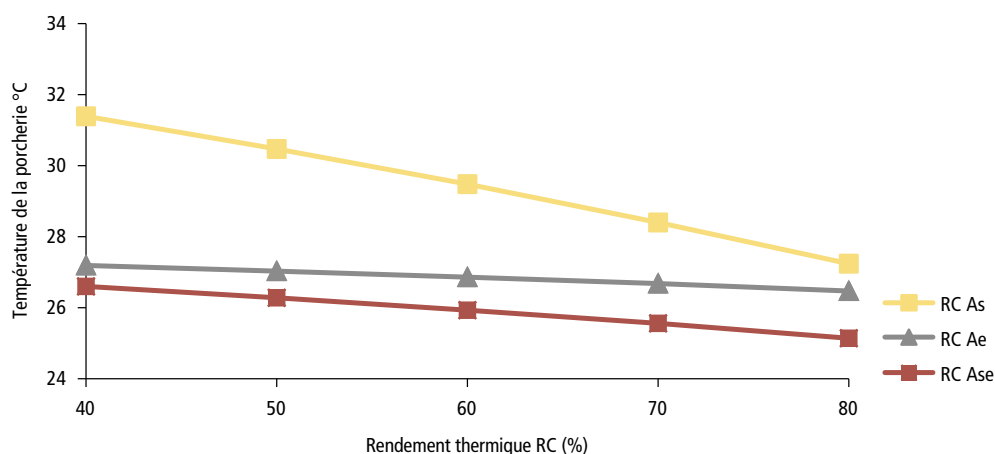


Figure 6 | Impact du rendement thermique de l'échangeur de chaleur sur la température de la porcherie avec les trois variantes de RC. Débit d'aération 40 000 m³/h.

porcherie descend à 26,2 °C pour un débit d'air de 60 000 m³/h (fig. 4). Avec cette variante également, il faut limiter l'humidité relative de l'air entrant plus le débit d'air est élevé, afin que l'air ne soit pas trop humide à l'intérieur de la porcherie.

Impact du rendement thermique de l'échangeur de chaleur
C'est avec la variante RC As que le rendement thermique a l'impact le plus marqué sur la température de la porcherie (fig. 6). Avec la variante RC Ae, la différence de température entre un rendement thermique de 40 % et un de 80 %, n'est que de l'ordre de 0,7 Kelvin (débit d'air 40 000 m³/h). Avec la variante RC As par contre, elle est de 4,2 Kelvin et avec la variante RC Ase de 1,5 Kelvin.

Comparaison avec la nébulisation à haute pression dans la porcherie et avec l'échangeur thermique souterrain

La comparaison est basée sur les hypothèses suivantes: la nébulisation haute pression (NHP) dans la porcherie, ainsi que l'humidification de l'air entrant dans l'installation RC Ase sont limitées par l'humidité relative (70 %) de l'air de la porcherie. Le rendement thermique de l'échangeur de chaleur est de 50 %. Avec la variante de l'échangeur de chaleur souterrain (ETS), la température de l'air entrant est de 24 °C pour une température extérieure de 32 °C.

Avec la nébulisation haute pression dans la porcherie, le refroidissement de l'air entrant est totalement adia-

batique. Dans le cas d'une installation RC Ase, une partie de la baisse de température est obtenue de manière diabatique grâce à l'échange de chaleur entre l'air sortant et l'air entrant. Ce système permet d'obtenir une baisse de température de l'ordre de 1,0 à 1,5 Kelvin à l'intérieur de la porcherie (fig. 7). Avec un débit d'air de 70 000 m³/h, l'effet de refroidissement de l'ETS est environ aussi élevé que celui de la nébulisation haute pression dans la porcherie, avec néanmoins une humidité relative qui est 15 % plus basse.

Aspects économiques

Par rapport aux installations de récupération de chaleur traditionnelles, les variantes de RC avec refroidissement adiabatique entraînent des coûts supplémentaires à cause de l'installation d'humidification et du plus gros échangeur de chaleur, qui doit avoir une capacité suffisante pour le débit d'air nécessaire en été. Dans les coûts d'exploitation, il faut aussi tenir compte des coûts supplémentaires pour la consommation d'eau et la consommation d'électricité des pompes.

D'un autre côté, ces dispositifs permettent également de faire des économies par rapport aux installations de récupération de chaleur traditionnelles. Le by-pass côté air sortant et air entrant (clapets, cheminées) devient superflu et la commande de l'installation est plus simple. Il est aussi possible de réduire davantage les coûts en réduisant les volumes d'air échangés en été (et donc les

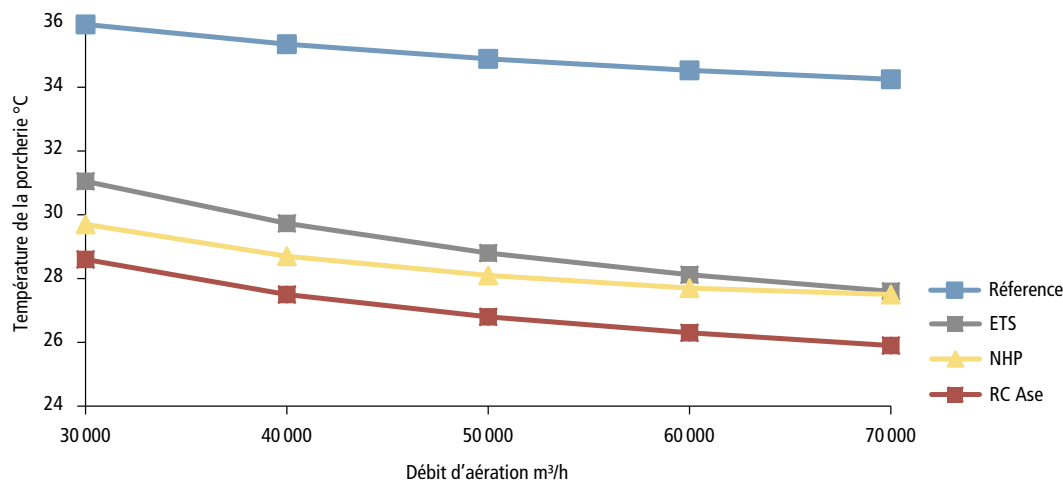


Figure 7 | Plus le débit d'aération augmente, plus la différence de températures entre les variantes RC Ase et NHP (nébulisation haute pression dans la porcherie) s'accroît.

besoins de puissance des ventilateurs) grâce au refroidissement. Dans l'exemple, la température de la porcherie est de 28,6 °C avec une installation de RC Ase et un débit d'air de 30 000 m³/h, contre 34,5 °C dans la porcherie de référence avec un débit d'air de 60 000 m³/h.

Si l'air entrant transite toute l'année à travers l'échangeur thermique, il faut s'attendre à une augmentation de la consommation électrique des ventilateurs du fait de la résistance supplémentaire de l'air plus élevée. D'un autre côté, la consommation d'électricité diminue lorsque le débit d'air peut être réduit grâce au refroidissement en été, lorsque les températures extérieures sont élevées.

Plus l'installation de récupération de chaleur est grande (surface de l'échangeur thermique), plus la résistance aérodynamique devrait être faible pour le même débit d'air et plus le rendement thermique devrait être élevé. Par contre, les coûts d'investissement augmentent avec la taille de l'installation. Des recherches plus approfondies et des essais pratiques sont nécessaires pour trouver l'optimum économique de ces installations.

Conclusions

Grâce à l'intégration d'un dispositif d'humidification côté air sortant et/ou air entrant, l'installation de récupération de chaleur contribue à réguler le climat de la porcherie tout au long de l'année.

Une humidification de l'air sortant jusqu'au point de saturation avant l'échangeur thermique et une humidification partielle de l'air entrant après l'échangeur thermique permettent un abaissement de la température à l'intérieur de la porcherie comparable à celui que l'on peut obtenir avec un échangeur de chaleur souterrain à tuyaux ondulés. L'échangeur thermique classique présente des avantages significatifs par rapport à l'échangeur de chaleur souterrain. Les investissements sont moindres et le gain de chaleur est plus important en hiver, notamment lorsque les températures de la porcherie sont élevées. De plus, l'effet de refroidissement est indépendant de la durée de la période de canicule. Ses inconvénients sont sa manipulation plus complexe et son entretien plus exigeant. La dimension de l'installation a une très grande influence sur les performances de refroidissement et sur la consommation d'électricité des ventilateurs.

Les échangeurs thermiques avec dispositif d'humidification intégré sont-ils également rentables? Cela dépend d'une part des coûts supplémentaires et d'autre part de la productivité des animaux lorsque les températures de la porcherie sont un peu plus basses. Seuls des essais pratiques permettront d'avoir une réponse. ■

Riassunto**Clima ottimale nelle stalle anche in estate grazie a impianti di recupero di calore**

I tradizionali impianti di recupero di calore (IRC) ad aria sono utili solo in caso di temperature esterne basse, a condizione che sia necessario riscaldare la stalla. Con l'installazione di un impianto di nebulizzazione ad alta pressione nell'IRC anche l'aria d'alimentazione può essere raffreddata con lo scambiatore di calore. Se, prima di fluire attraverso lo scambiatore di calore, l'aria di scarico viene inumidita fino al punto di saturazione, la sua temperatura può essere ridotta anche di 10 gradi kelvin. In tal modo, nello scambiatore di calore è estratto il calore dall'aria d'alimentazione. Migliore risulta il grado di efficacia termica dello scambiatore di calore, maggiore sarà la riduzione di temperatura dell'aria d'alimentazione. In tale processo diabatico il tenore in acqua nell'aria della stalla non aumenta. Questo è il caso in cui l'aria d'alimentazione è inumidita dopo aver attraversato lo scambiatore di calore. Contrariamente all'impianto di nebulizzazione ad alta pressione in stalla, in caso di impiego di un impianto di recupero di calore con l'umidificazione dell'aria d'alimentazione e di scarico, il raffreddamento non è completamente diabatico ma anche in parte diabatico attraverso lo scambio di calore tra aria d'alimentazione e di scarico. Con un modello di calcolo dinamico è possibile calcolare la riduzione della temperatura della stalla.

Con l'impianto di nebulizzazione integrato e uno scambiatore di calore di maggiori dimensioni, che deve essere sufficiente anche per la quota di aria in estate, risultano dei sovraccosti. Dall'altro lato l'impianto diventa più semplice perché vengono meno le valvole e i camini di bypass. Inoltre, grazie al raffreddamento, anche la quota d'aria massima, e di conseguenza la prestazione del ventilatore, può essere ridotta. In un impianto pilota si appurerà se l'impianto può soddisfare aspettative relative al clima della stalla, economiche e rilevanti dal profilo ambientale

Summary**Optimum animal house climatization even in summer, thanks to heat recovery systems**

Traditional air to air heat recovery systems (HRS) are only useful at low outside temperatures as long as heat is required in animal housing. The incoming air can also be cooled by the heat exchanger if a high pressure water atomizer is installed in the HRS. If the outgoing air is humidified to saturation point before it passes through the heat exchanger it cools to 10 Kelvin, which means that heat is extracted from the incoming air in the heat exchanger. The better the thermal efficiency of the heat exchanger, the greater the reduction in temperature of the incoming air. The water content of the air in the housing does not increase during this diabatic process. This is the case if the incoming air is humidified after passing through the heat exchanger. Unlike high pressure atomization in animal housing, not all the cooling is effected adiabatically when a heat recovery system with outgoing and incoming air humidification is used, but some of it also takes place diabatically due to heat exchange between outgoing air and incoming air. The reduction in housing temperature can be calculated with a dynamic calculation model.

Additional costs are incurred by the integrated high pressure atomizer and the larger heat exchanger, which must also be adequate for the summer airflow rate. On the other hand the system also becomes simpler, as bypass valves and flues are dispensed with. Thanks to the cooling, moreover, maximum air rate and consequently fan capacity can also be reduced. Pilot plant trials will be conducted to find out whether the system can meet expectations in respect of stall climatization, economic viability and environmental relevance.

Key words: heat recovery, adiabatic and diabatic cooling, climatization of animal houses, energy efficiency.

Bibliographie

- Van Caenegem L., Jöhl G., Sax M. & Soltermann A., 2010. Diviser la consommation d'énergie du chauffage et de la ventilation par deux et plus. Rapport ART 735, Station de recherche Agroscope, Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen, 8 p.
- Van Caenegem L., Sax M. & Schick M., 2012. Wärmerückgewinnungsanlagen auch zum Kühlen. *Landtechnik* 67 (3), 216–220