

# Větrání a klimatizace stájí

## 1. Část – Určení množství vyměňovaného vzduchu ve stájích

doc. Ing. Jiří Fryč, CSc.

Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky  
Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně

# Biologická zátěž stájového ovzduší

- vodní páry
- tepelná energie
- oxid uhličitý
- páry čpavku
- sirovodík

# Ohrožení zvířat při nedostatečném větrání

## **ZIMA - VODNÍ PÁRY**

### **PODCHLAZENÍ ZVÍŘAT**

- **RESPIRAČNÍ CHOROBY**

## **LÉTO - TEPELNÁ ENERGIE**

### **PŘEHŘÁTÍ ZVÍŘAT**

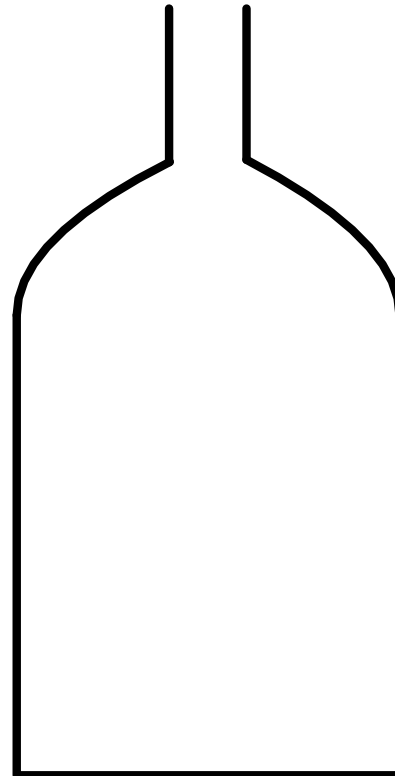
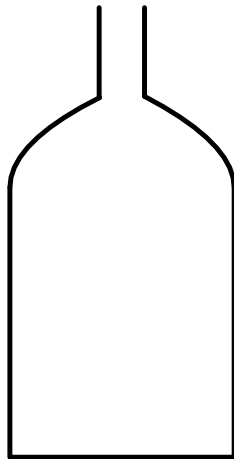
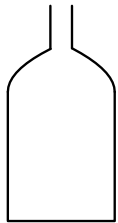
- **CELKOVÉ ZHORŠENÍ ZDRAVOTNÍHO STAVU**
- **ROZVOJ KLINICKÝCH MASTITID**
- **SNÍŽENÍ PŘÍRŮSTKŮ NEBO REDUKCE VÁHY**
- **SNÍŽENÍ MLÉČNÉ UŽITKOVOSTI 10 AŽ 35%**
- **VÝRAZNÉ ZHORŠENÍ REPRODUKČNÍHO PROCESU**

# Výpočet výměny vzduchu

- Provádí se vždy podle stejného schématu.
- Musíme znát celkovou produkci škodliviny ve stáji za časovou jednotku.
- Musíme znát množství škodliviny, které odvede 1 m<sup>3</sup>.
- Produkci škodliviny ve stáji za časovou jednotku vydělíme množstvím škodliviny, které odvede 1 m<sup>3</sup> a tím vypočteme požadované množství vzduchu v metrech krychlových, které musíme ve stáji vyměnit za časovou jednotku.

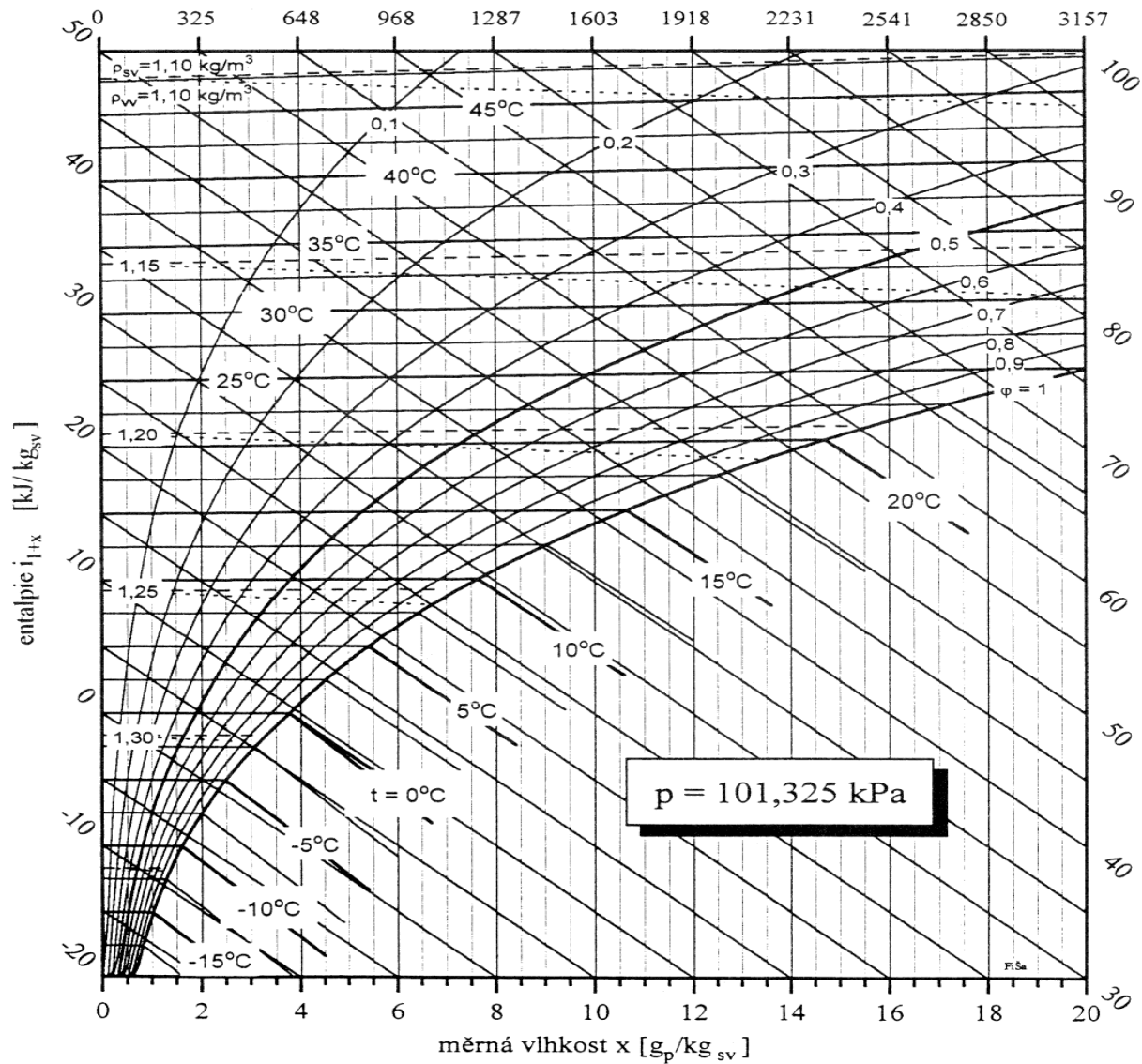
# Odvádění vodních par

- Schopnost vzduchu jímat vodní páry se mění s teplotou
- **Měrná vlhkost** udává množství vodní páry v gramech na 1 kg suchého vzduchu.
- Následující přehled udává maximální množství vodní páry, které může pojmout 1 kg vzduch při různých teplotách.
- -15°C 1g kg<sup>-1</sup>      0°C 3,8g kg<sup>-1</sup>      25°C 20g kg<sup>-1</sup>



7.4 Mollierův  $i$ - $x$  diagram vlhkého vzduchu pro standardní tlak  $p_{vv} = 101,325 \text{ kPa}$ ,  $x \in \langle 0; 20 \rangle \frac{\text{g}_p}{\text{kg}_{sv}}$  a teploty  $t \in \langle -20; 50 \rangle ^\circ \text{C}$

parciální tlak par  $p_p$  [ Pa ]

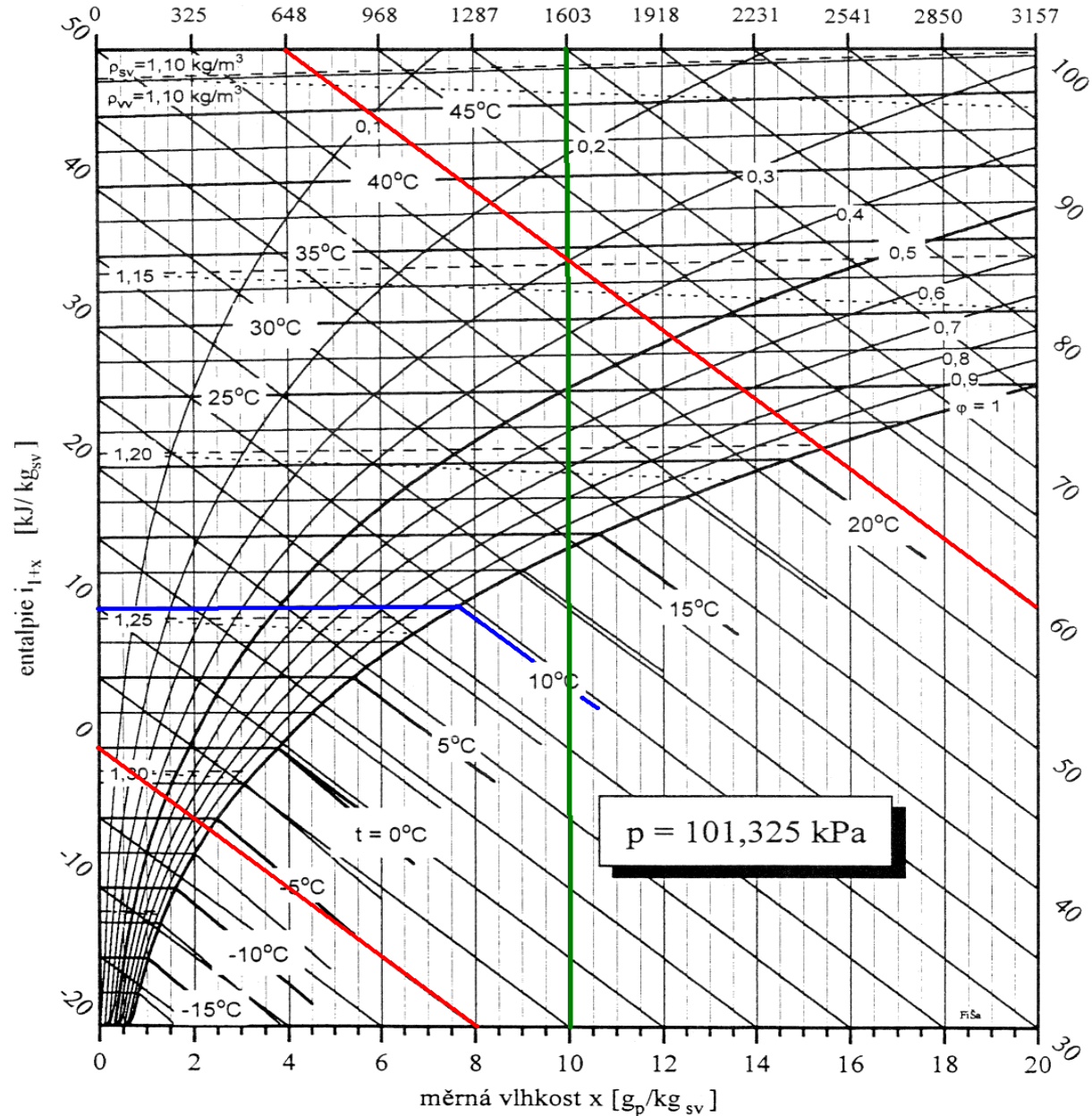


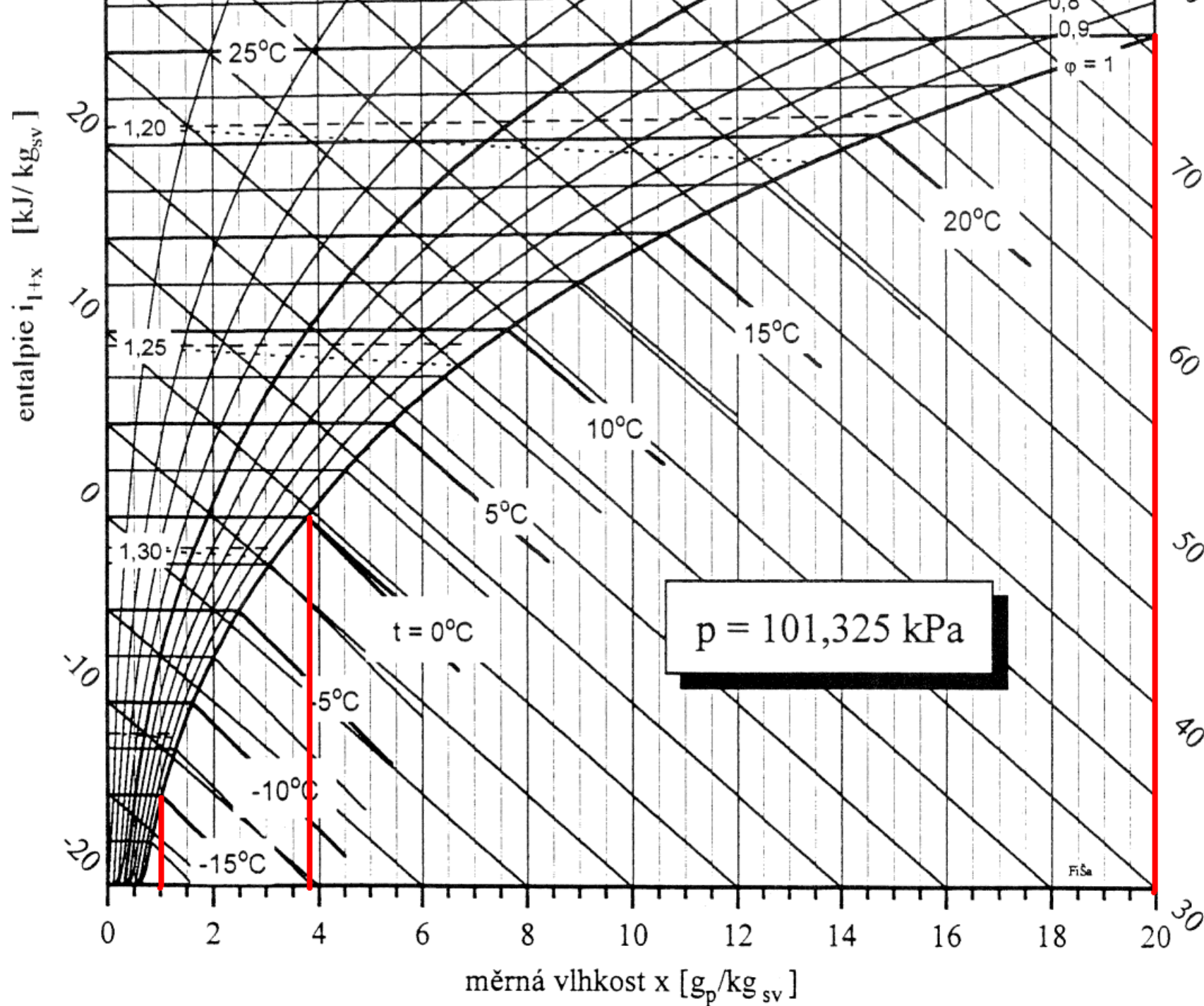
### 7.4 Mollierův i-x diagram vlhkého vzduchu pro standardní

tlak  $p_{vv} = 101,325 \text{ kPa}$ ,  $x \in < 0; 20 > \frac{\text{g}_p}{\text{kg}_{sv}}$  a teploty

$t \in < -20; 50 > ^\circ \text{C}$

parciální tlak par  $p_p$  [ Pa ]



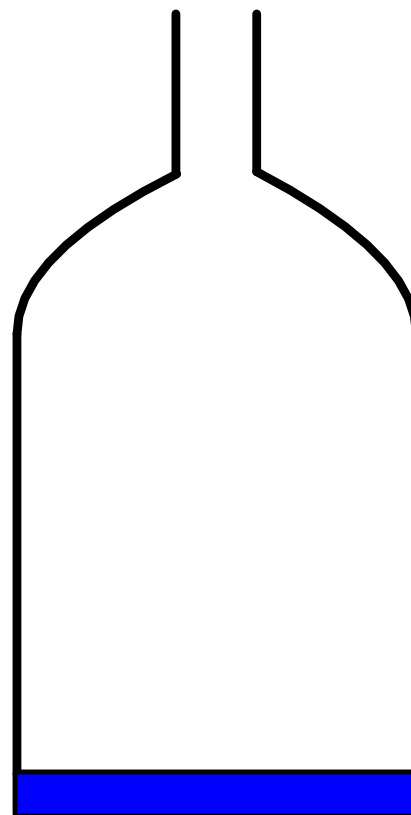
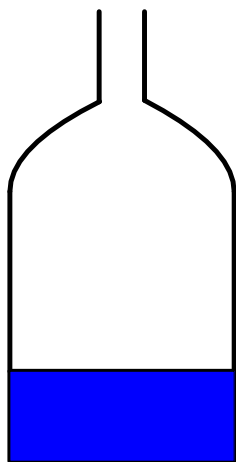
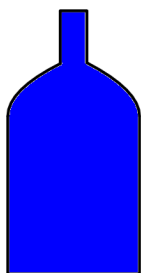


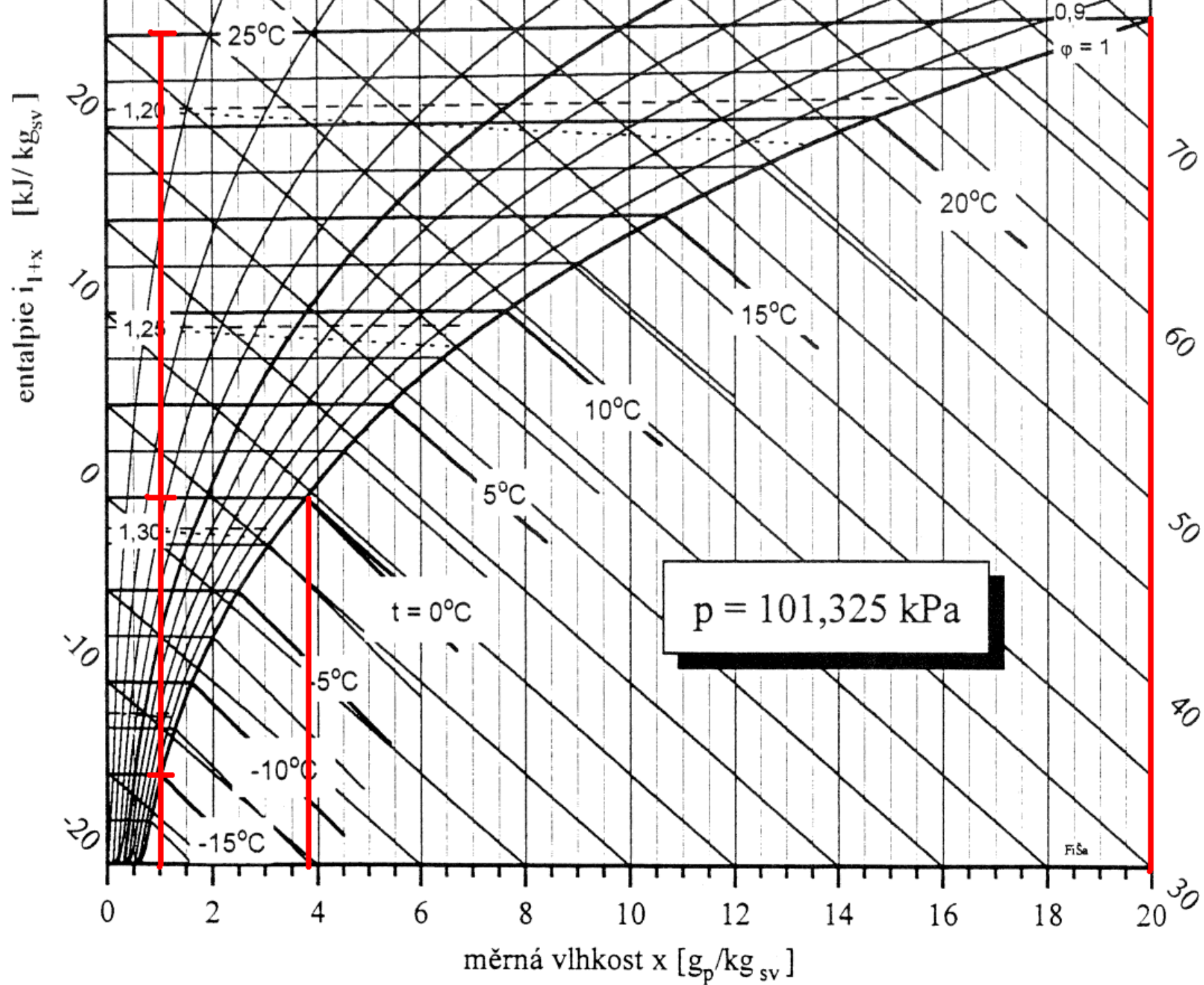


# Odvádění vodních par

- **Relativní vlhkost** udává z kolika procent je využita schopnost jímat vodní páry při dané teplotě.
- Následující přehled udává relativní vlhkost vzduchu, při různých teplotách, když je měrná vlhkost konstantní a činí 1 g vodní páry na 1 kg vzduch.

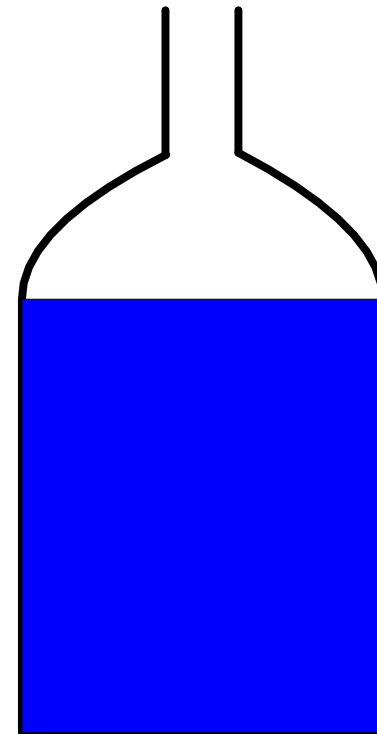
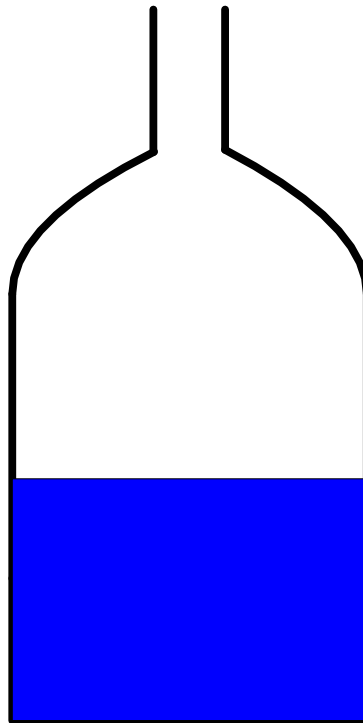
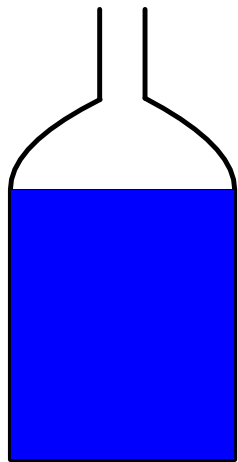
- -15°C
- 0°C
- 25°C
- 1g kg<sup>-1</sup> – 100%
- 1g kg<sup>-1</sup> – 26%
- 1g kg<sup>-1</sup> – 5%





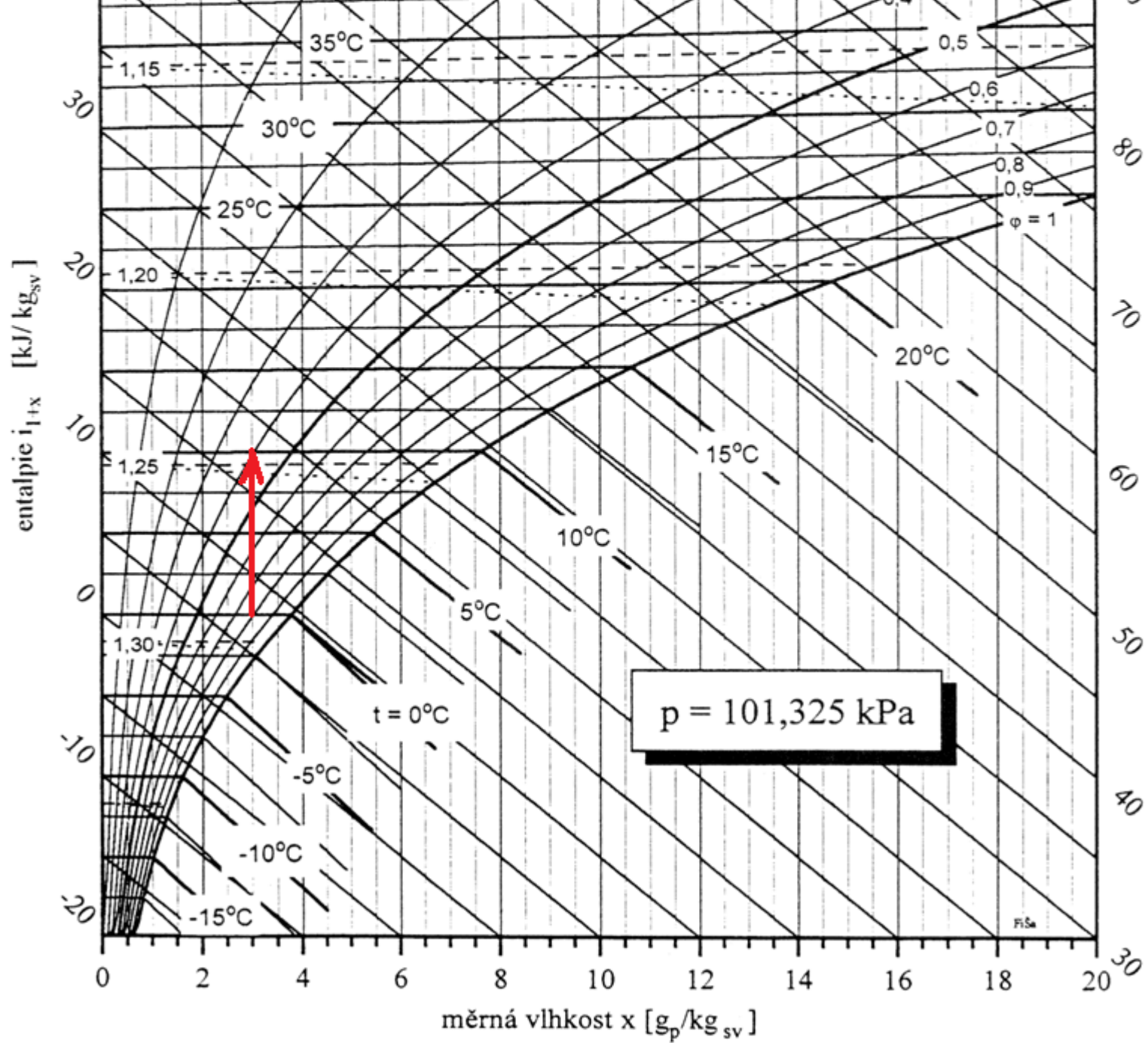
# Odvádění vodních par

- | Venkovní vzduch                                       | Vzduch ve stáji     |  | Odcházející vzduch  |
|---|---------------------|--|---------------------|
| 0°C   | z 0°C na 10°C       |  | 10°C                |
| 80%   | z 80% na 40%        |  | 80%                 |
| 3g kg <sup>-1</sup>                                   | 3g kg <sup>-1</sup> | z 3g kg <sup>-1</sup> na 6g kg <sup>-1</sup> | 6g kg <sup>-1</sup> |
| Každý kilogram vzduchu odvede ze stáje 3g vodních par |                     |  |                     |

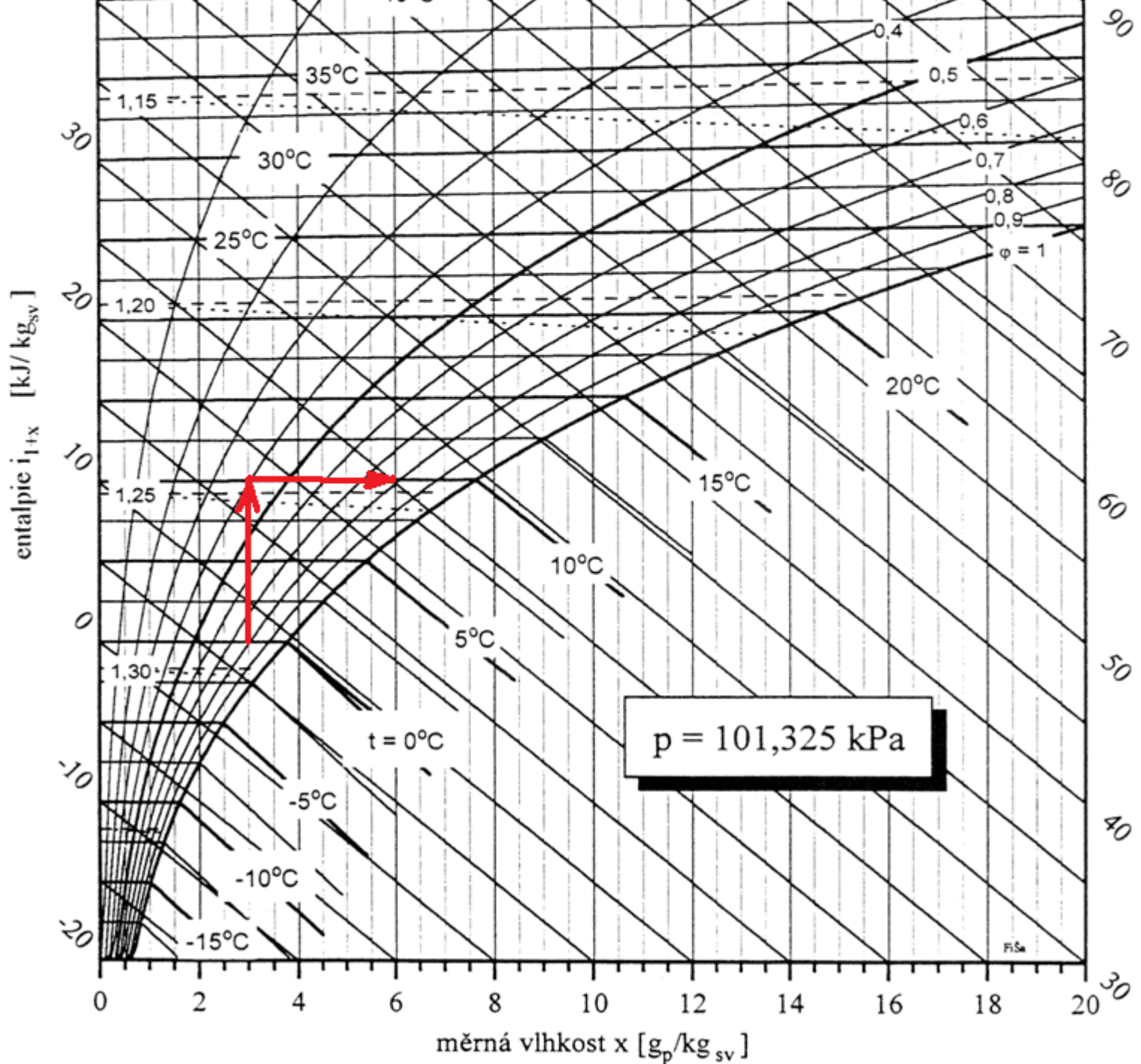


# Odvádění vodních par

- Venkovní vzduch má teplotu  $0^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkost 80 %. V tabulkách nebo v Mollierově diagramu nalezneme hodnotu měrné vlhkosti, která činí  $3 \text{ g.kg}^{-1}$ .
- Ve stáji je teplota  $10^{\circ}\text{C}$  a požadovaná maximální relativní vlhkost činí 80 %.
- Vzduch se ve stáji ohřeje na teplotu  $10^{\circ}\text{C}$  a tím klesne jeho relativní vlhkost. V tabulkách nebo v Mollierově diagramu nalezneme hodnotu relativní vlhkosti, která činí 40 %.
- Vzduch může pojmout další vodní páru až do maximální relativní vlhkosti, která činí 80 %.
- V tabulkách nebo v Mollierově diagramu nalezneme hodnotu měrné vlhkosti pro teplotu  $10^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkost 80 %, která činí  $6 \text{ g.kg}^{-1}$ .
- 1 kg vzduchu na vstupu obsahuje 3 g vodní páry. 1 kg vzduchu na výstupu obsahuje 6 g vodní páry.
- Každý kilogram vzduchu, který projede stájí odvede 3 g vodní páry.







# Příklad: stáj se 100 kusy býků

- Měrná produkce vodních par je  $0,22 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
- (Jeden kilogram hmotnosti zvířete vyprodukuje za 1 sekundu 0,22 mg vodní páry.)
- 100 kusu býků po 500 kg má celkovou hmotnost 50 000 kg.
- Celková produkce vodních par ve stáji za sekundu činí  $50\,000 \times 0,22 = 11\,000 \text{ mg}\cdot\text{s}^{-1} = 11\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $39,6 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )
- 1 kg vzduchu odvede 3 g vodních par
- Ve stáji musíme vyměnit za sekundu celkem  $11 : 3 = 3,67 \text{ kg}$  vzduchu ( $13\,200 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ )
- Při měrné hmotnosti vzduchu  $1,24 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  objem vyměňovaného vzduchu činí  $2,96 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  ( $10\,645 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ )

# Odvod vodních par

(matematické vyjádření výpočtu)

$$V_{ow} = \frac{M_w}{(x_i - x_e) \cdot \rho_i} \left[ m^3 \cdot s^{-1} \right]$$

$$M_w = M_z \cdot M_{wj} \cdot k_w \left[ g \cdot s^{-1} \right]$$

$V_{ow}$  - potřebné vyměňované množství vzduchu pro odvod vodních par [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$M_w$  - celková produkce vodních par zvířaty [ $g \cdot s^{-1}$ ]

$x_i$  - měrná vlhkost odváděného vzduchu [ $g \cdot kg^{-1}$ ]

$x_e$  - měrná vlhkost přiváděného vzduchu [ $g \cdot kg^{-1}$ ]

$\rho_i$  - hustota odváděného vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$M_z$  - celková hmotnost zvířat [kg]

$M_{wj}$  - měrná produkce vodních par zvířaty [ $g \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$ ]

$k_w$  - přepočítávací koeficient na konkrétní teplotu [-]



# Odvod CO<sub>2</sub> a jiných plynů

Množství plynu odvedené 1m<sup>3</sup> vzduchu  
$$= ( K_i - K_e ) : 100 \quad [m^3]$$

$K_i$  – objemová koncentrace na výstupu [%]

$K_e$  – objemová koncentrace na vstupu [%]

# Příklad: stáj se 100 kusy býků

- Měrná produkce CO<sub>2</sub> je  $5,28 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  ( $0,19 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ )  
(Jeden kilogram hmotnosti zvířete vyprodukuje za 1 sekundu  $5,28 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ CO}_2$ .)
- 100 kusu býků po 500 kg má celkovou hmotnost 50 000 kg
- Celková produkce CO<sub>2</sub> ve stáji činí  
 $50\,000 \times 5,28 \cdot 10^{-8} = 2,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ( $9\,500 \text{ dm}^3 \text{ h}^{-1}$ )
- 1 m<sup>3</sup> vzduchu odvede  $(0,25 - 0,03) : 100 = 0,0022 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$
- Ve stáji musíme vyměnit za sekundu celkem  
 $2,64 \cdot 10^{-3} : 2,2 \cdot 10^{-3} = 1,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ( $4\,320 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) vzduchu

# Odvod CO<sub>2</sub> a jiných plynů

$$V_{oc} = \frac{100 \cdot V_c}{(K_i - K_e)} \left[ m^3 \cdot s^{-1} \right]$$

$$V_c = M_z \cdot V_{cj} \left[ m^3 \cdot s^{-1} \right]$$

$V_{oc}$  - potřebné vyměňované množství vzduchu pro odvod CO<sub>2</sub> nebo jiných plynů [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$V_c$  - celková produkce CO<sub>2</sub> nebo jiných plynů [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$K_i$  - objemová koncentrace na výstupu [%]

$K_e$  - objemová koncentrace na vstupu [%]

$M_z$  - celková hmotnost zvířat [kg]

$V_{cj}$  - měrná produkce CO<sub>2</sub> zvířaty [ $m^3 \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$ ]

# Odvod tepla

1 kg vzduchu odvede  $i_i - i_e$  [J]

tepelné energie

$i_i$  – entalpie stájového vzduchu

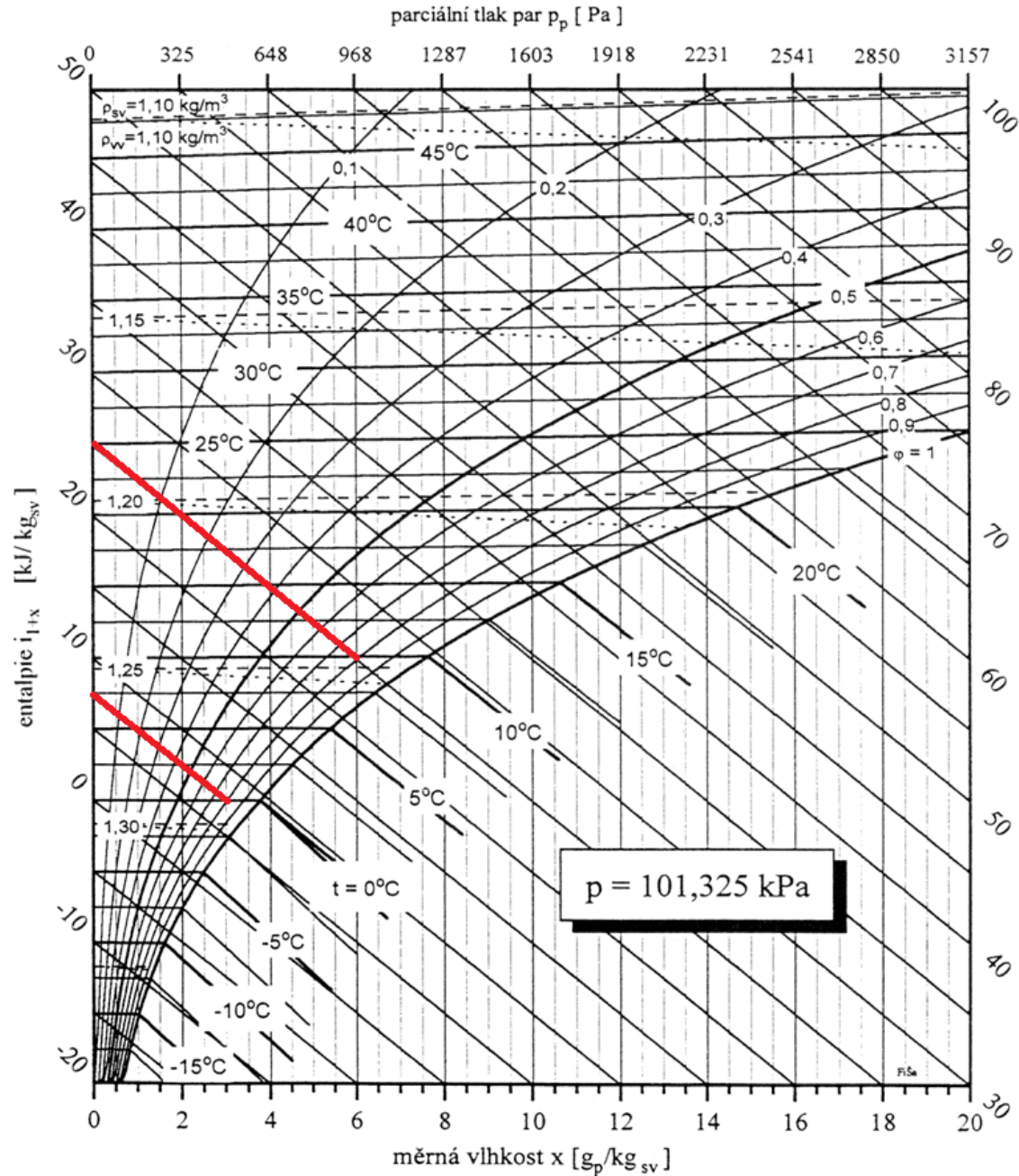
$i_e$  – entalpie venkovního vzduchu

1 m<sup>3</sup> vzduchu odvede  $(i_i - i_e) \rho_v$  [J]

Když  $t_i = 10^\circ\text{C}$ ,  $t_e = 0^\circ\text{C}$  a  $\varphi = 80\%$

1 m<sup>3</sup> vzduchu odvede  $(25000 - 7500) 1,25 =$   
21 875 J

7.4 Mollierův  $i-x$  diagram vlhkého vzduchu pro standardní tlak  $p_{vv} = 101,325 \text{ kPa}$ ,  $x \in < 0; 20 > \frac{\text{g}_p}{\text{kg}_{sv}}$  a teploty  $t \in < -20; 50 > ^\circ \text{C}$



# Příklad: stáj se 100 kusy býků

- Produkce tepla je  $1,6 \text{ W kg}^{-1}$
- 100 kusu býků po 500 kg má tepelný výkon  $50\,000 \times 1,6 = 80\,000 \text{ W} = 80\,000 \text{ J s}^{-1}$
- Celková produkce tepla ve stáji za sekundu činí  $80\,000 \text{ J}$

Předpoklad, že větráním máme odvézt 50%

$1 \text{ m}^3$  vzduchu odvede  $21\,875 \text{ J}$

Ve stáji musíme vyměnit za sekundu celkem

$40\,000 : 21\,875 = 1,83 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ( $6\,583 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ )

vzduchu

Výpočet množství vyměňovaného vzduchu pro odvedení tepelného výkonu produkovaného ustájenými zvířaty

## Tepelný výkon zvířat

$$Q_{pr} = M_z \cdot Q_{prj} \cdot k_q \quad [W]$$

$Q_{prj}$  – tepelný výkon produkovaný 1 kg hmotnosti zvířat [ $W \text{ kg}^{-1}$ ]

$M_z$  – celková hmotnost zvířat [kg]

$k_q$  – přepočítávací koeficient na aktuální teplotu (při odlišné teplotě uvnitř stáje  $t_i$ ) [-]. Hodnota  $Q_{prj}$  je určena pro teplotu  $+10^\circ\text{C}$

Výpočet množství vyměňovaného vzduchu pro odvedení tepelného výkonu produkovaného ustájenými zvířaty

$$V_{oq} = \frac{Q_{pr}}{(i_i - i_e) \cdot \rho_i} \left[ m^3 \cdot s^{-1} \right]$$

$Q_{pr}$  – tepelný výkon produkovaný zvířaty redukováný (snížený o tepelný výkon, který prostoupí pláštěm budovy) [W]

$i_i$  – entalpie odváděného vzduchu [ $J \cdot kg^{-1}$ ]

$i_e$  – entalpie přiváděného vzduchu [ $J \cdot kg^{-1}$ ]

$\rho_i$  – měrná hmotnost odváděného vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ].



# Kontrolní otázky

- Co rozumíme pod pojmem biologická zátěž stájového ovzduší?
- Co udává měrná vlhkost?
- Co udává relativní vlhkost?
- Jaké základní veličiny musíme znát, abychom mohli spočítat vyměňované množství vzduchu ve stáji?