

# **VENTILATIONSSYSTEM**

- Värme, kyla och  
el-användning till fläktar

**Per Fahlén**

**Chalmers tekniska högskola**

# RUMMETS VÄRMEBALANS

- **Värmebalans**

$$\dot{Q}_{tot} = [\dot{Q}_{env} + \dot{Q}_{int}] + [\dot{Q}_{sa} + \dot{Q}_{rtu}] = 0$$

- **Komponenter**

$$\dot{Q}_{env} = \dot{Q}_{trans} + \dot{Q}_{inf}$$

$$\dot{Q}_{int} = \dot{Q}_{pers} + \dot{Q}_{light} + \dot{Q}_{equip} + \dot{Q}_{sol}$$

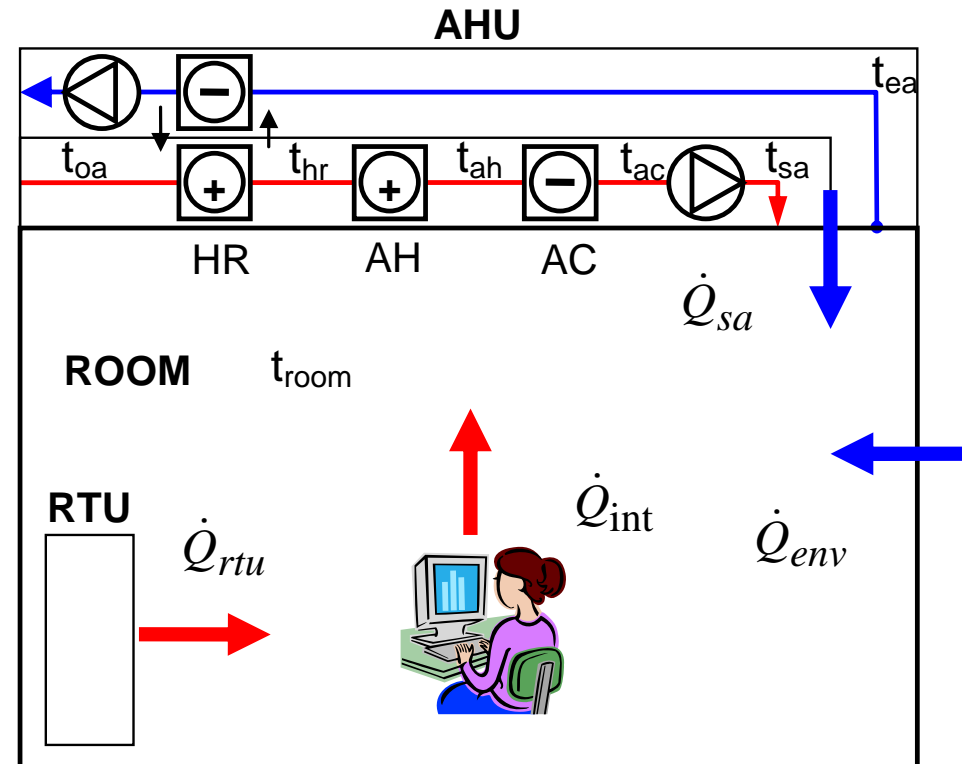
$$\dot{Q}_{sa} = \dot{Q}_{ahu} - \dot{Q}_{vent}$$

$$\dot{Q}_{rtu} = \dot{Q}_{room} - \dot{Q}_{sa}$$

- **Behov**

$$\dot{Q}_{room} = -\dot{Q}_{env} - \dot{Q}_{int}$$

$$\dot{Q}_{vent} = K_{vent} \cdot (t_{oa} - t_{room})$$



- **Tillförsel**

$$\dot{Q}_{ahu} = \dot{Q}_{hr} + \dot{Q}_{ah} + \dot{Q}_{ac}$$

$$\dot{Q}_{rtu} = \dot{Q}_{room} - \dot{Q}_{sa}$$

# BALANSTEMPERATUR

- **Definition**

$$t_b = t_{room} - \frac{\dot{Q}_{int}}{K_{env}}$$

$$\Delta t_{int} = \frac{\dot{Q}_{int}}{K_{env}}$$

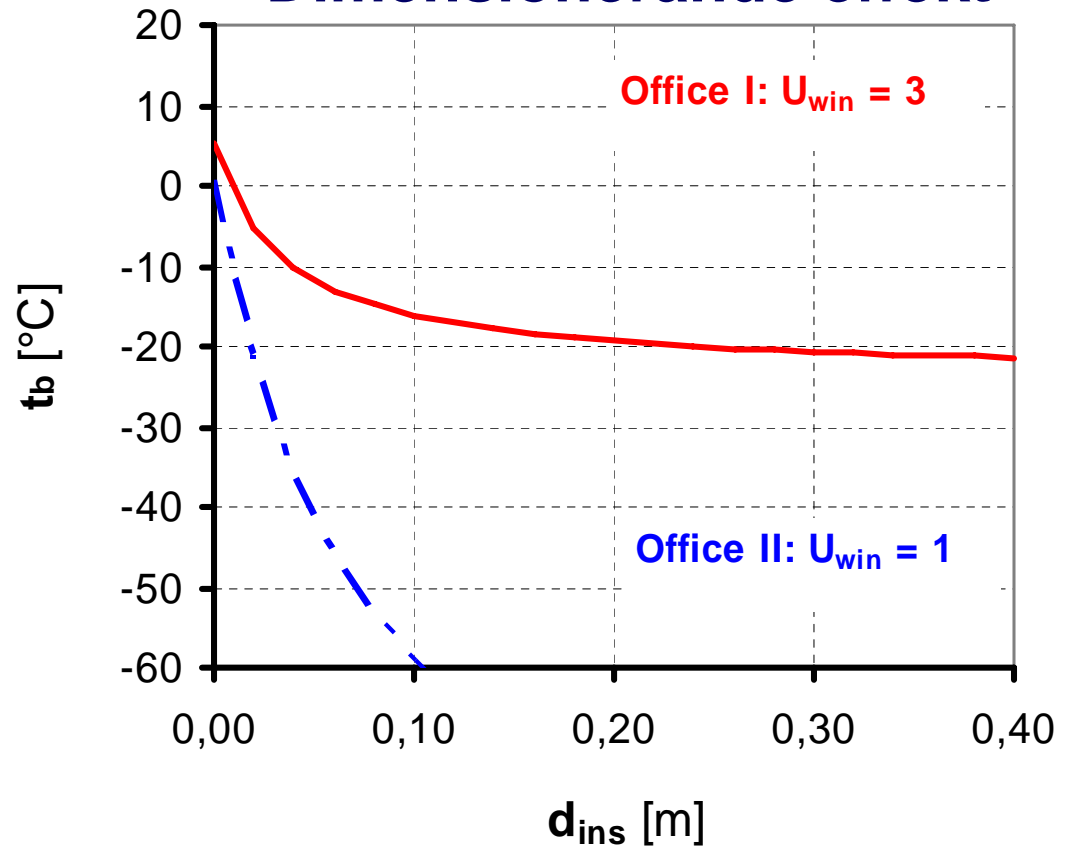
$$K_{env} = K_{trans} + K_{inf}$$

$$K_{trans} = \sum U_j \cdot A_j$$

$$K_{inf} = \dot{C}_{inf}$$

$$\dot{Q}_{env} = K_{env} \cdot (t_{oa} - t_{room})$$

- **Dimensionerande effekt**



# OPERATIV BALANSTEMPERATUR

## • Definition

$$t_{b,op} = t_{room} - \frac{\dot{Q}_{int}}{K_{env} + K_{vent}}$$

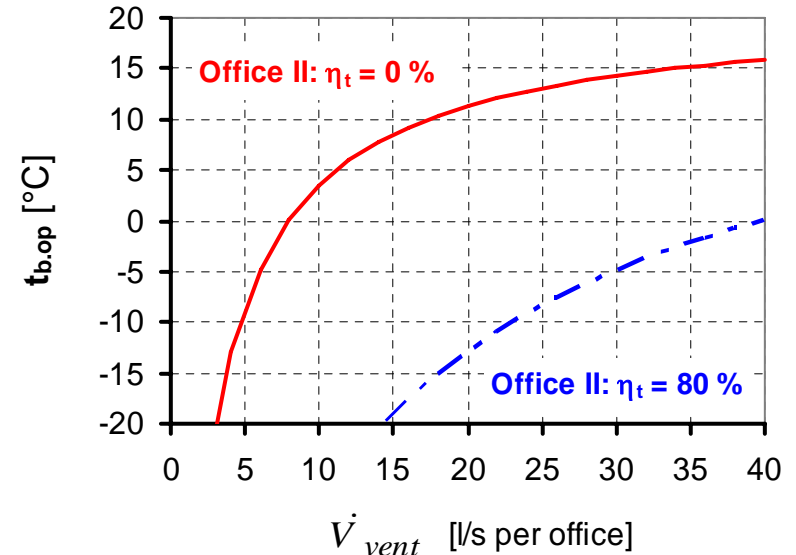
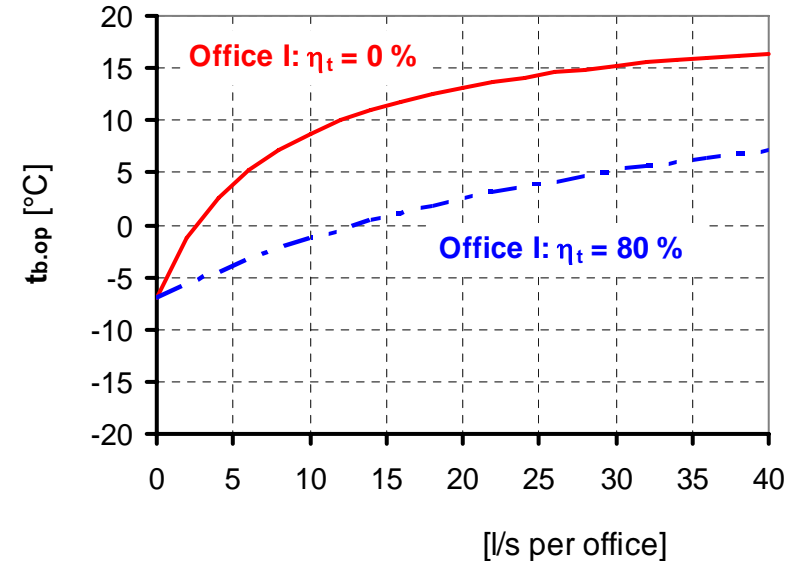
$$K_{vent} = \dot{C}_a$$

$$\dot{Q}_{vent} = K_{vent} \cdot (t_{oa} - t_{room})$$

$$K_{hrv} = K_{vent} \cdot (1 - \eta_t)$$

$$\dot{Q}_{hrv} = K_{hrv} \cdot (t_{ea} - t_{oa})$$

## • Medeleffekt



## FAKTORER SOM PÅVERKAR DEN OPERATIVA BALANSTEMPERATUREN

- Rumstemperatur (utnyttja dödband)
- Internvärme (solskydd; apparater, belysning)
- Klimatskärm (ganska statisk)
- Ventilation: Styrbarheter

$$K_{vent} = \dot{C}_a$$

$$K_{hrv} = K_{vent} \cdot (1 - \eta_t)$$

# HYGIENFLÖDE

- **Nattventilation behövs för att klara dimensionerande fall**

## Daytime air flow rates

CAV: Const. 10 l/s per person

DCV: Min. 4.4 l/s ((0.35 l/s/m<sup>2</sup>))

AQ control (CO<sub>2</sub>)

Max. 10.0 l/s (0.80 l/s/m<sup>2</sup>)

TC control ( $t_{room}$ )

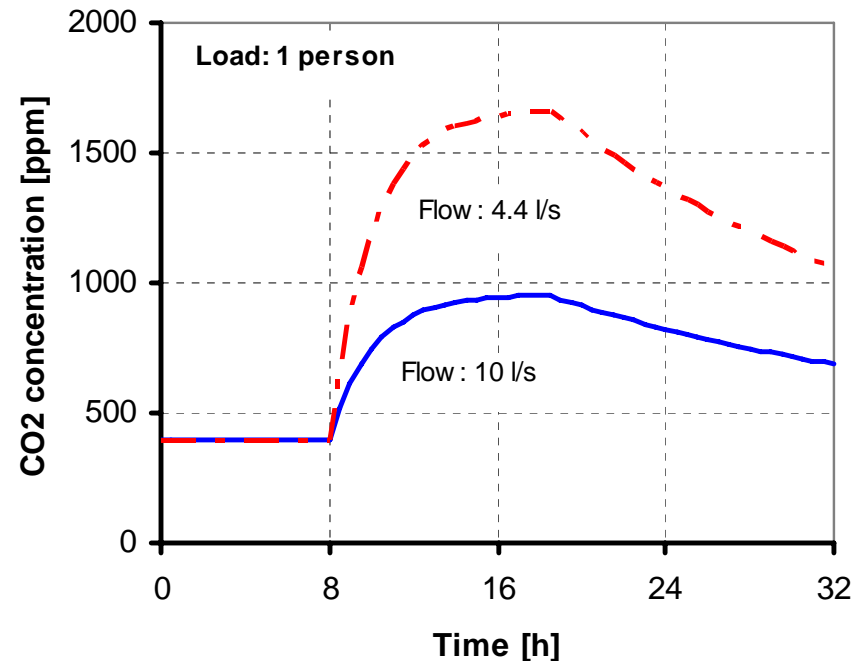
Max.  $\propto \Delta t_{sa}$

## AQ criterion

The daytime min. flow rate provides

$c_{CO_2} < 1000$  ppm with room fully occupied

(see diagram)



## STYRNING AV LUFTFLÖDE

- **Termiskt klimat: T.ex.  $t_{rum}$**

$$t_{room} = t_{sa} + \frac{\dot{Q}_{int}}{K_{tot}}$$

$$K_t = - \frac{\dot{Q}_{int}}{C_a \cdot (U \cdot A / C_a + \dot{V}_{nom})^2}$$

$$\Delta t_{room} = \Delta t_{sa} + K_t \cdot \Delta \dot{V}_{vent}$$

- **Luftkvalitet: T.ex.  $CO_2$**

$$c_{room} = c_{sa} + \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{vent}}$$

$$K_{CO_2} = - \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{nom}^2}$$

$$\Delta c_{room} = \Delta c_{sa} + K_{CO_2} \cdot \Delta \dot{V}_{vent}$$

## TILLUFTENS KYLEFFEKT

- Beror direkt av
  - luftflöde
  - tilluftstemperatur
  - rumstemperatur

$$\dot{Q}_{sa} = K_{sa} \cdot (t_{sa} - t_{room})$$

$$\frac{\Delta \dot{Q}_{sa}}{\dot{Q}_{sa}} = \frac{\Delta \dot{V}_{sa}}{\dot{V}_{sa}} + \frac{\Delta t_{sa}}{(t_{sa} - t_{room})} - \frac{\Delta t_{room}}{(t_{sa} - t_{room})}$$



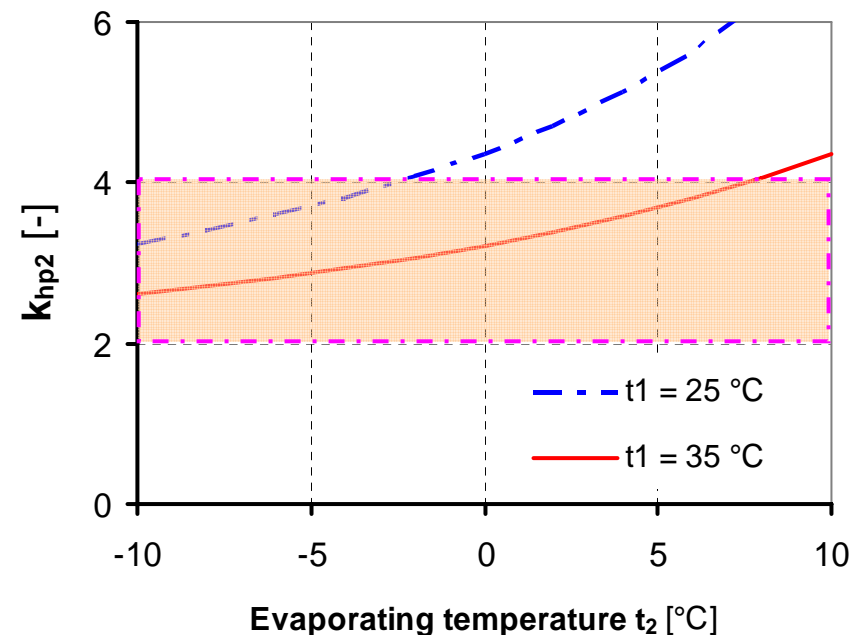
# LÄGRE TEMPERATUR ELLER MER FLÖDE?

- Lägre temperatur ger ökad kompressoreffekt
- Högre flöde ger ökad fläktel

$$\begin{aligned}\Delta \dot{W}_e &= \Delta \dot{W}_{hp} + \Delta \dot{W}_{e,f} = \\ &= (k_{hp} \cdot \dot{W}_{hp} + k_f \cdot \dot{W}_{e,f}) \cdot \Delta t_{sa}\end{aligned}$$

$$\frac{\Delta \dot{W}_e}{\Delta t_{sa}} = k_{hp} \cdot \dot{W}_{hp} \cdot \left(1 + \frac{k_f}{k_{hp}} \cdot \frac{\dot{W}_{e,f}}{\dot{W}_{hp}}\right)$$

$$\frac{\Delta \dot{W}_e}{\Delta t_{sa}} = 0.03 \cdot \dot{W}_{hp} \cdot \left(1 - 25 \cdot \frac{\dot{W}_{e,f}}{\dot{W}_{hp}}\right)$$



## EXTERN ELLER INTERN RUMSKYLA

- **Krav på SFP för att TC-styrt luftflöde ska vara el-effektivare än kylmaskin ( $n = 1,5$  till  $2$ ):**

$$SFP_{nom} < \left( \frac{\dot{q}_V}{COP_c} \right) \cdot \left( \frac{\dot{Q}_{sa}}{\dot{Q}_{nom}} - 1 \right) \cdot \left( \left( \frac{\dot{Q}_{sa}}{\dot{Q}_{nom}} \right)^{n+1} - 1 \right)^{-1}$$

**Volumetric fan power:**

$$SFP = \frac{\dot{W}_{e,f}}{\dot{V}_a} \quad [\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}]$$

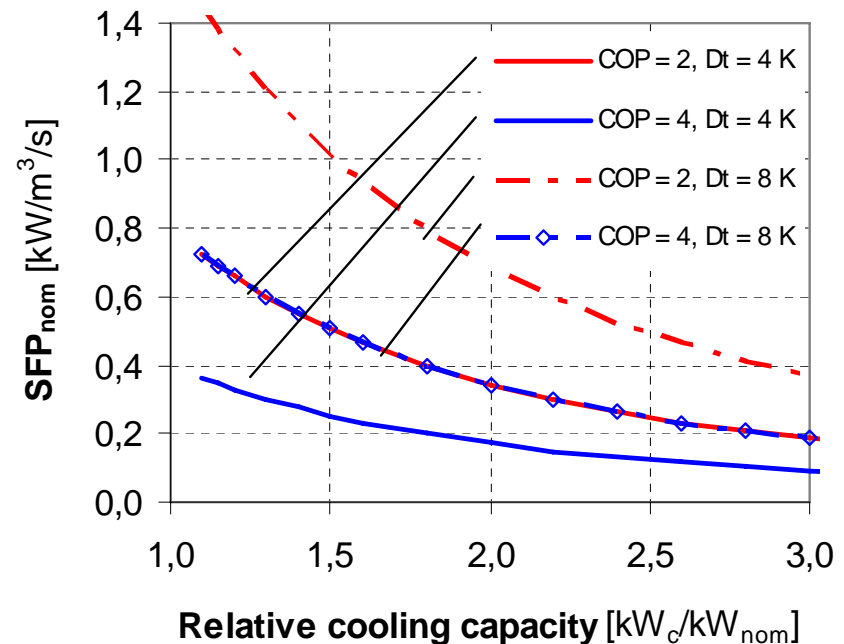
**Volumetric cooling capacity:**

$$\dot{q}_V = \frac{\dot{Q}_{sa,nom}}{\dot{V}_{sa,nom}} \quad [\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}]$$

$$(\dot{q}_V \approx 1.2 \cdot (t_{sa} - t_{room}))$$

**Relative cooling capacity:**

$$\frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_{nom}} \quad [\text{kW}/\text{kW}]$$



# FLÄKTEFFEKT

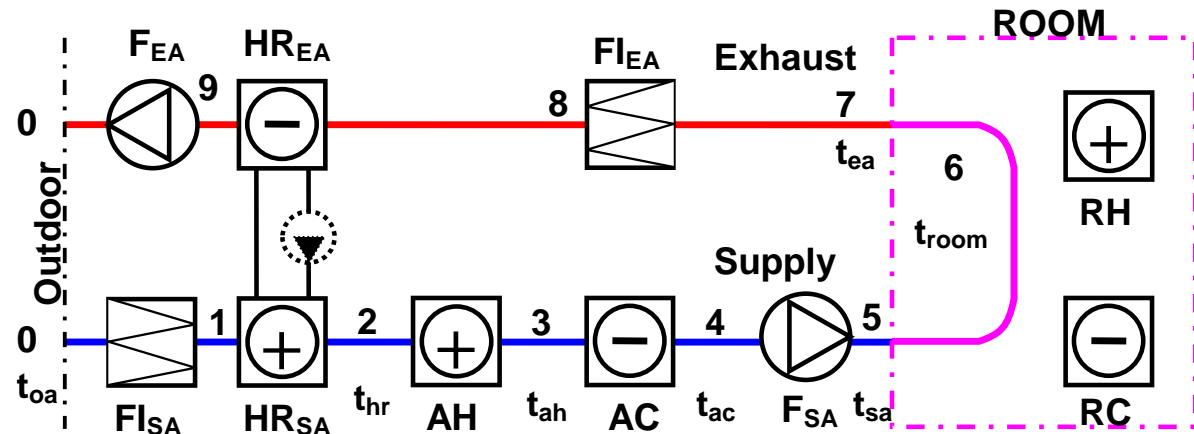
- **Minska SFP**
  - Öka fläktverkningsgraden
  - Reducera distributionstryckfall
  - Reducera aggregattryckfall (FI, HR, AH, AC)

$$SFP = \frac{\dot{W}_{e,f}}{\dot{V}_a} = \frac{\Delta p \cdot 10^{-3}}{\eta_f}$$

$$SFP = SFP_{nom} \cdot \left( \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_{a,nom}} \right)^n$$

## Typical pressure drop Pa]

$\Delta p_{01} = -150$	$\Delta p_{78} = -150$
$\Delta p_{12} = -100$	$\Delta p_{89} = -100$
$\Delta p_{23} = -30$	$\Delta p_{90} = 500$
$\Delta p_{34} = -50$	plus ducts, dampers,
$\Delta p_{45} = 600$	terminals units



## STYRPRINCIP FÖR KYLA

- Luftflödet baseras på AQ-krav (t.ex.  $c_{\text{CO}_2} < 1000$  ppm)
- Rumstemperatur baseras på TC-krav (t.ex. 21 °C)
- Håll  $t_{\text{rum}}$  rumstemperaturen vid komfortmin. (t.ex. 21 °C)
- Minska värmeåtervinning tills  $t_T = t_{T,\text{min}}$  (t.ex. 17 °C)
- Använd dödband;  $t_{\text{rum},\text{min}} < t_{\text{rum}} < t_{\text{rum},\text{max}}$  (t.ex. 21-25 °C)
- Öka luftflödet baserat på max. av AQ- eller TC-krav
- Använd nattkyla men se upp med fläktenergi
- Starta kylmaskin när marginalökningen av fläkteffekt är större än kylmaskinseffekten

## KONTORSEKONOMI?

- **Personalkostnad: 100 000 SEK/m<sup>2</sup>/år**
- **Hyra: 2 000 SEK/m<sup>2</sup>/år**
- **Kapitalkostnad installation: 200 - 1 000 SEK/m<sup>2</sup>/år**
- **Energikostnad: 100 - 500 SEK/m<sup>2</sup>/år**