

Vyacheslav PISAREV  
Politechnika Rzeszowska

## **KLIMATYZACJA CENTRALNA Z KLIMAKONWEKTORAMI WENTYLATOROWYMI Z OBEJŚCIEM, UZDATNIAJĄCYMI MIESZANINĘ POWIETRZA Z CENTRALI KLIMATYZACYJNEJ I POWIETRZA RECYRKULACYJNEGO PRZEZ KLIMAKONWEKTOR W OKRESIE LETNIM**

W pracy omówiono podstawy projektowania zmian stanu powietrza w systemie klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor w okresie letnim. Ponadto przedstawiono przykład obliczeniowy zmian stanu powietrza w systemie klimatyzacji.

### **Zestawienie ważniejszych oznaczeń**

#### **Oznaczenia**

- G – strumień objętościowy powietrza [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  
 $\Delta Q_C$  – strumień (zyski) ciepła całkowitego [kW],  
Qch – strumień chłodu [kW],  
W – zyski wilgoci [g/s],  
x – zawartość wilgoci [g/kg powietrza suchego], [g/kg],  
i – entalpia właściwa powietrza [kJ/kg],  
 $\phi$  – wilgotność względna powietrza [%],  
 $\varepsilon$  – współczynnik kierunkowy przemiany stanu powietrza [kJ/kg],  
t – temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ].

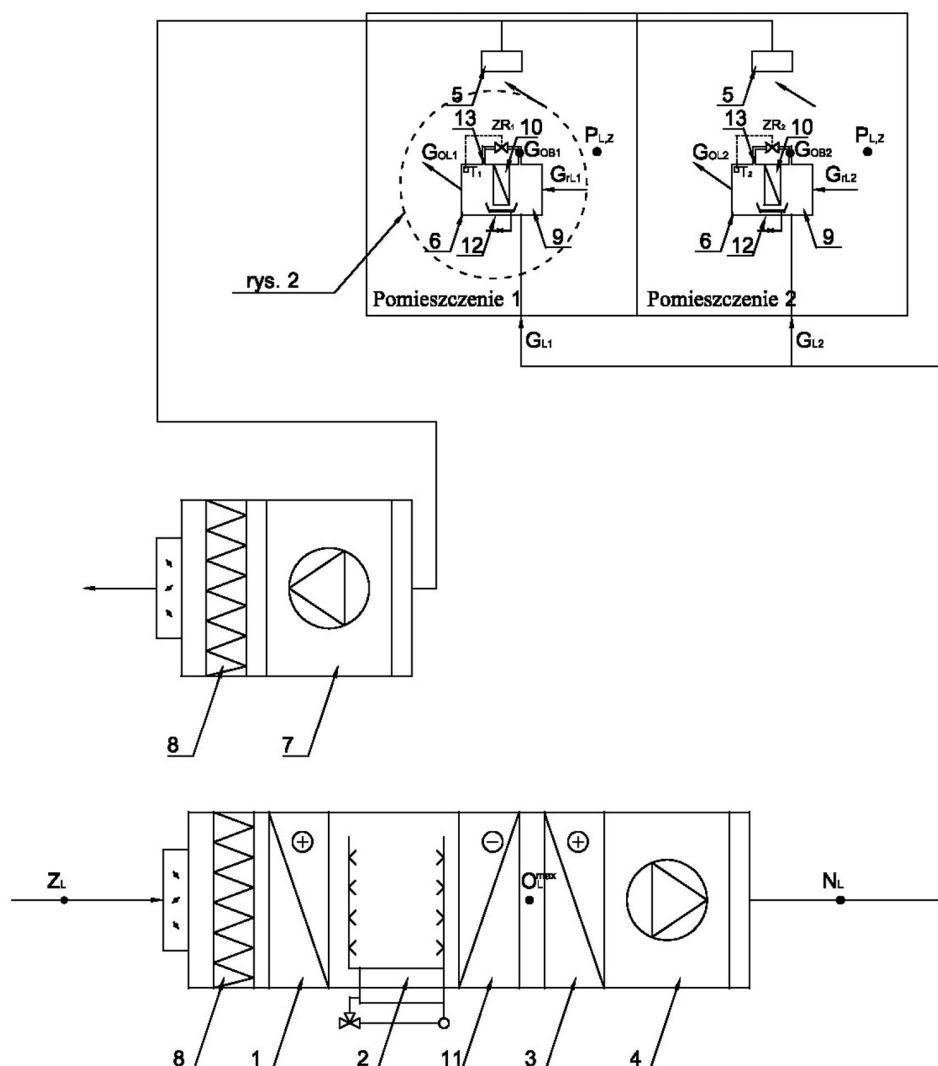
#### **Indeksy**

- Z – zewnętrzny,  
P – pomieszczenie, strefa przebywania ludzi,  
P, Z, M, O, N, H,  $K^I$ ,  $K^{II}$  – indeksy odpowiadające punktom stanu powietrza na wykresie i-x powietrza wilgotnego,

OB	– obejście,
C	– całkowite,
J	– jawne,
CH	– chłodnicza,
1, 2 (i)	– liczby,
max	– maksymalny,
r	– recyrkulacja.

### **1. Zasada działania systemu klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor w okresie letnim**

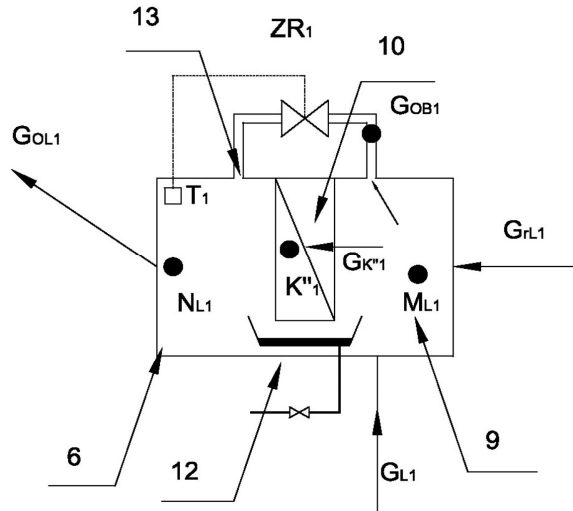
Do obsługi dużych pomieszczeń, budynków o dużej powierzchni lub do budynków wielopomieszczeniowych, w których mogą występować duże zyski ciepła i duże zyski wilgoci, konieczne jest stosowanie klimatyzacji w celu uzyskania odpowiednich warunków dla przebywania ludzi. Jednym z rozwiązań jest system klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor (rys. 1.), co daje możliwość racjonalizowania zużycia energii elektrycznej oraz kosztów inwestycji. W centrali klimatyzacyjnej jest uzdatniany strumień powietrza zewnętrznego, który jest niezbędny i ze względów higienicznych zalecany dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości. W każdej strefie lub pomieszczeniu zamontowane są klimakonwektory, które uzdatniają mieszaninę powietrza recyrkulacyjnego z pomieszczenia i powietrza zewnętrznego uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej. W klimakonwektorach odbywa się proces ochładzania i osuszania powietrza (w tzw. chłodnicy powierzchniowej), czyli usunięcie zysków wilgoci, które nie mogą być usunięte z powietrzem zewnętrznym. Stopień ochładzania i osuszania powietrza nawiewanego do pomieszczenia jest sterowany termostatem  $T_1$  (rys. 2.), którego czujnik jest ustawiony za chłodnicą. Termostat ten reguluje strumień powietrza przepływającego przez obejście za pomocą przepustnicy  $ZR_1$  (rys. 2.). W wyniku tego można nawiewać do pomieszczenia powietrze o odpowiednich parametrach. Istnieje możliwość otrzymania powietrza nawiewanego dla różnych stref lub pomieszczeń z różnymi parametrami. Pierwszy stopień uzdatniania odbywa się w centrali klimatyzacyjnej wspólnej dla wszystkich pomieszczeń. Przygotowane w centrali powietrze (pierwotne powietrze) jest doprowadzone przewodami do klimakonwektorów. Klimakonwektory wentylatorowe zapewniają niezbędny reżim obróbki mieszaniny powietrza uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej z powietrzem recyrkulacyjnym przez klimakonwek-



Rys. 1. Schemat systemu klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej z powietrzem recyrkulacyjnym przez klimakonwektor: 1 – nagrzewnica, 2 – komora nawilżania, 3 – nagrzewnica wtórna, 4 – wentylator nawiewny, 5 – wywiewniki, 6 – klimakonwektory, 7 – wentylator wywiewny, 8 – filtr, 9 – komora mieszania klimakonwektora, 10 – wymiennik ciepła klimakonwektora, 11 – chłodnica powierzchniowa, 12 – zbiornik skroplin, 13 – obejście

tor. W klimakonwektorach wentylatorowych są wykorzystane pośrednie wymienniki ciepła. Rysunki 3. i 4. przedstawiają procesy zachodzące przy uzdatnianiu powietrza w klimakonwektorach na wykresie  $i$ - $x$  powietrza wilgotnego [1, 2]. Linia  $M_{L1}K''_1$  (rys. 3.) przedstawia proces chłodzenia i osuszania powie-

trza w chłodnicy powierzchniowej 10 (rys. 2.), z wykropleniem wilgoci ze strumienia powietrza  $G_{K''1}$ , oraz proces mieszania dwóch strumieni powietrza: przepływającego przez chłodnicę  $G_{K''1}$  i obejście  $G_{OB1}$ , stan mieszaniny dwóch strumieni powietrza przedstawia punkt  $N_{L1}$ .



Rys. 2. Proces obróbki powietrza dla pomieszczenia 1 w klimakonwektorze wentylatorowym (z recyrkulacją i chłodnicą powierzchniową z obejściem): 6 – klimakonwektor, 9 – komora mieszania klimakonwektora, 10 – wymiennik ciepła klimakonwektora, 12 – zbiornik skroplin, 13 – obejście;  $M_{L1}$  – punkt stanu mieszaniny powietrza recyrkulacyjnego  $G_{rL1}$  i powietrza zewnętrznego  $G_{L1}$  (patrz dalej rys. 5. i 6.)

Na rys. 4. jest przedstawiony proces mieszania dwóch strumieni powietrza, stanów punktów  $N_L^{\max}$  (dalej w artykule stan powietrza zewnętrznego przed klimakonwektorem) i  $P_L$  (stan powietrza w pomieszczeniu). Stan termodynamiczny tych strumieni jest określony następującymi parametrami:

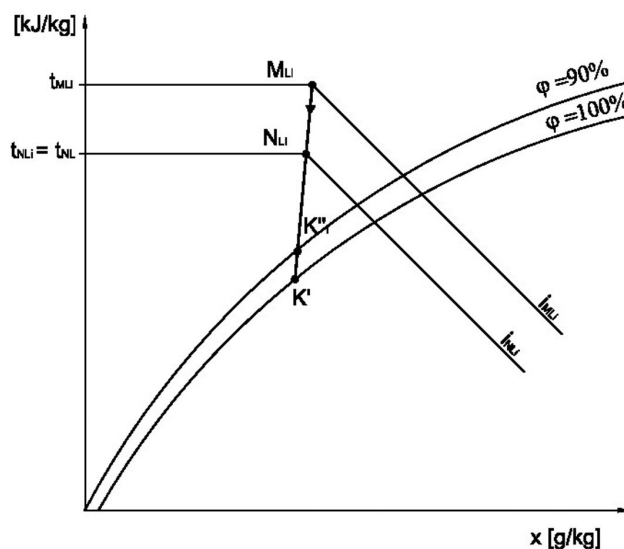
- $t_{PL}$ ,  $x_{PL}$ ,  $i_{PL}$  – dla strumienia powietrza stanem punktu  $P_L$ ,
- $t_o^{\max}$ ,  $x_o^{\max}$ ,  $i_o^{\max}$  – dla strumienia powietrza stanem punktu  $N_L^{\max}$ .

Punkt  $M_{Li}$  określa stan mieszaniny i leży na prostej łączącej punkty  $N_L^{\max}$  i punkt  $P_L$ . Przy znanych strumieniach powietrza zewnętrznego  $G_{Li}$  i recyrkulacyjnego  $G_{rLi}$  można obliczyć analitycznie parametry powietrza w punkcie  $M_{Li}$ : temperaturę  $t_{MLi}$ , entalpię  $i_{MLi}$  i wilgotność względną  $x_{MLi}$ , korzystając z następujących wzorów:

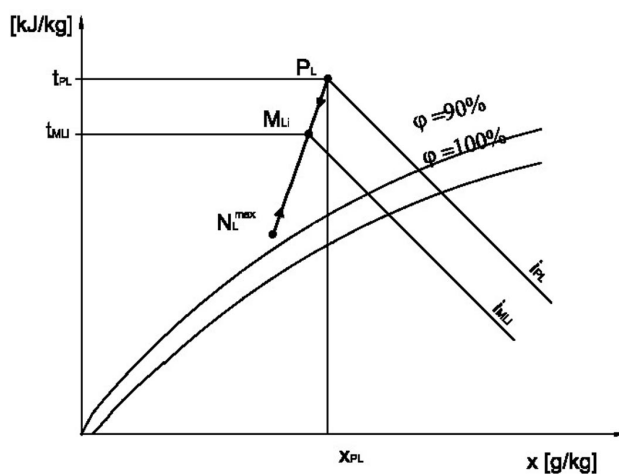
$$t_{MLi} = (G_{Li} \cdot t_o^{\max} + G_{rLi} \cdot t_{PL}) / (G_{Li} + G_{rLi}) [^{\circ}\text{C}] \quad (1)$$

$$i_{Mli} = (G_{Li} \cdot i_O^{\max} + G_{rLi} \cdot i_{PL}) / (G_{Li} + G_{rLi}) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (2)$$

$$x_{Mli} = (G_{Li} \cdot x_O^{\max} + G_{rLi} \cdot x_{PL}) / (G_{Li} + G_{rLi}) \quad [\text{g/kg}] \quad (3)$$



Rys. 3. Chłodzenie powietrza od stanu punktu  $M_{Li}$  za pomocą chłodnic powierzchniowych do stanu określonego punktem  $K''_1$



Rys. 4. Ustalenie punktu mieszaniny  $M_{Li}$  dwóch strumieni powietrza

Podstawowym warunkiem procesu chłodzenia z jednoczesnym osuszaniem (wykropleniem wilgoci – rys. 3.) jest temperatura powierzchni chłodnicy, która musi być niższa od temperatury punktu rosy powietrza przepływającego przez

chłodnicę. Ciepło jest odbierane od powietrza wilgotnego w procesie  $M_{L1}K''_1$ . Cząstki powietrza przepływające blisko powierzchni chłodnicy zostają przechłodzone poniżej temperatury punktu rosy, co powoduje wykraplanie na powierzchni chłodnicy pary wodnej, która jest zbierana w zbiorniku skroplin.

Następnie powietrze strumienia  $G_{K''1}$  miesza się z powietrzem z obejścia  $G_{OB1}$  i jest nawiewane do pomieszczeń. Ilość powietrza przepływającego przez chłodnicę 10 (rys. 2.)  $G_{K''1}$  można obliczyć z bilansu cieplnego, ze wzoru:

$$G_{OL1} \cdot i_{NL1} = G_{OB1} \cdot i_{ML1} + G_{K''1} \cdot i_{K''1} \quad (4)$$

gdzie:  $G_{OB1}$  – strumień powietrza przepływającego przez obejście,  
 $G_{K''1}$  – strumień powietrza przepływającego przez wymiennik ciepła,  
 $G_{OL1}$  – strumień powietrza nawiewanego.

## 2. Projektowanie procesów zmiany stanu parametrów powietrza w klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor w okresie letnim

Dane wyjściowe są następujące:

- parametry powietrza zewnętrznego wg normy PN-76/B-03420 [3]
  - temperatura –  $t_{ZL}$  [°C],
  - wilgotność względna powietrza –  $\phi_{ZL}$  [%],
  - entalpia właściwa powietrza –  $i_{ZL}$  [kJ/kg],
  - zawartość wilgoci –  $x_{ZL}$  [g/kg],
- parametry powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach (w przykładzie dwa różne pomieszczenia) wg normy PN-78/B-03421 [4]
  - temperatura we wszystkich pomieszczeniach –  $t_{PL}$  [°C],
  - wilgotność względna powietrza we wszystkich pomieszczeniach –  $\phi_{PL}$  [%],
- parametry technologiczne
  - zyski ciepła całkowitego odpowiednio w pomieszczeniach 1, 2 –  $\Delta Q_{CL1}, \Delta Q_{CL2}$  [kW],
  - zyski wilgoci odpowiednio w pomieszczeniach 1, 2 –  $W_{CL1}, W_{CL2}$  [g/s],  $W_{CL1} < W_{CL2}$ ,
  - niezbędny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego, ze względów higienicznych zalecany do zapewnienia odczucia komfortu i świeżości, odpowiednio w pomieszczeniach 1, 2 –  $G_{L1}, G_{L2}$  [m<sup>3</sup>/s].

### Obliczenia i budowa procesu na wykresie i-x powietrza wilgotnego

Na wykresie i-x powietrza wilgotnego (rys. 5. i 6.) buduje się punkty stanu powietrza:

- zewnętrznego –  $Z_L$ ,
- wewnętrznego –  $P_L$ .

Oblicza się współczynniki kierunkowe przemiany stanu powietrza dla wszystkich pomieszczeń  $\varepsilon_{Li}$ , ze wzoru:

$$\varepsilon_{Li} = \Delta Q_{CLi} / W_{CLi} \text{ [kJ/kg]} \quad (5)$$

Buduje się linię stanu temperatury powierzchni chłodzącej chłodnicy powierzchniowej  $t_{CH} = \text{const.}$ , przyjmując [1]:

- temperaturę wody chłodzącej w chłodnicy powierzchniowej  $t_w$  ze wzoru

$$t_w = (3 \div 5) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (6)$$

- temperaturę powierzchni chłodzącej chłodnicy powierzchniowej 11 (rys. 1.)  $t_{CH}$  ze wzoru

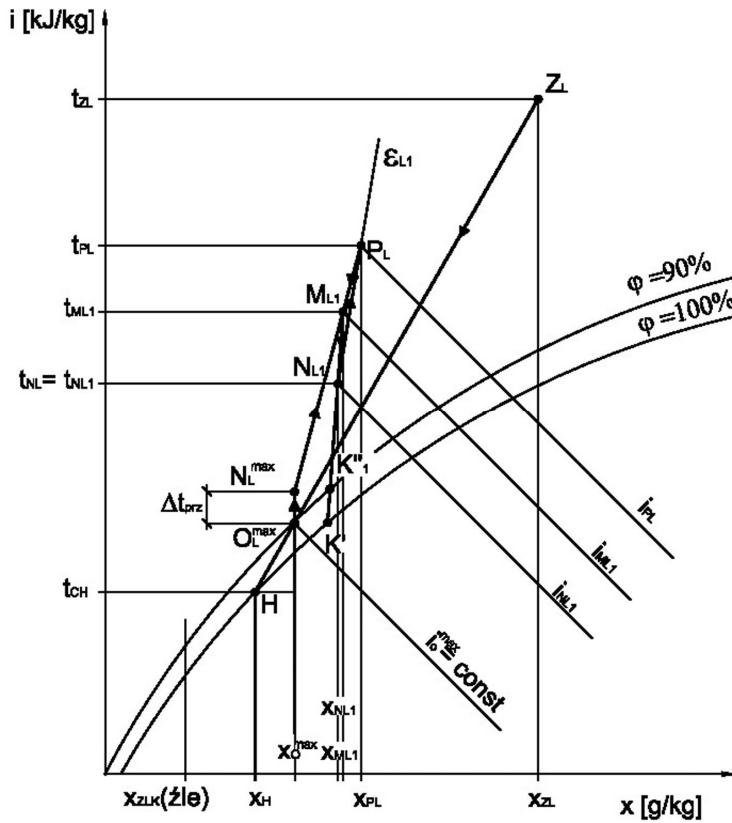
$$t_{CH} = t_w + (3 \div 5) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (7)$$

Na przecięciu linii  $t_{CH} = \text{const.}$  i linii  $\phi = 100\%$  otrzymuje się punkt H, określający stan powietrza bezpośrednio koło powierzchni chłodnicy (reżym maksymalny możliwego poziomu ochładzania powietrza w chłodnicy powierzchniowej).

Oblicza się niezbędne parametry ochłodzonego i osuszonego powietrza ze wewnętrznego (zalecanych ze względów higienicznych do zapewnienia odczucia komfortu i świeżości) po opuszczeniu centrali klimatyzacyjnej, które są potrzebne do usunięcia zysków wilgoci; do obliczeń bierze się zyski wilgoci  $W_{C,L2}$  dla pomieszczenia 2, w którym są one największe [1, 2]. Zawartość wilgoci w powietrzu zewnętrznym przed klimakonwektorami oblicza się ze wzoru:

$$x_{ZLK} = x_{PL} - W_{CL2} / (\rho \cdot G_{L2}) \text{ [g/kg]} \quad (8)$$

Jeżeli zyski wilgoci  $W_{C,L2}$  nie mogą być usunięte z powietrzem zewnętrznym (są zbyt duże), a wielkość  $x_{ZLK}$  jest mniejsza od wielkości  $x_H$ , to na przecięciu się linii  $Z_LH$  z linią  $\phi = (90 \div 95)\%$  otrzymuje się parametry powietrza zewnętrznego, częściowo osuszonego w centrali klimatyzacyjnej (punkt  $O_L^{\max}$ ). Można z przekształconego wzoru (8) obliczyć nową wydajność powietrza zewnętrznego, potrzebną do usunięcia wilgoci przy przyjmowanej zawartości wilgoci w punkcie  $O_L^{\max}$  (ten wariant dalej nie jest rozpatrzony), zyski wilgoci usuwa się w klimakonwektorze.



Rys. 5. Przemiany stanu powietrza na wykresie i-x powietrza wilgotnego dla pomieszczenia 1 w okresie letnim

Zakłada się ogrzewanie powietrza w wentylatorze nawiewnym centrali klimatyzacyjnej i w przewodach  $\Delta t_{prz} = 1 \div 1,5$  [°C], [2, 5], odkłada odpowiedni odcinek do góry po linii  $x_o^{max} = \text{const}$ . od punktu  $O_L^{max}$  i otrzymuje punkt  $N_L^{max}$  (rzeczywiste parametry powietrza zewnętrznego przed klimakonwektorami).

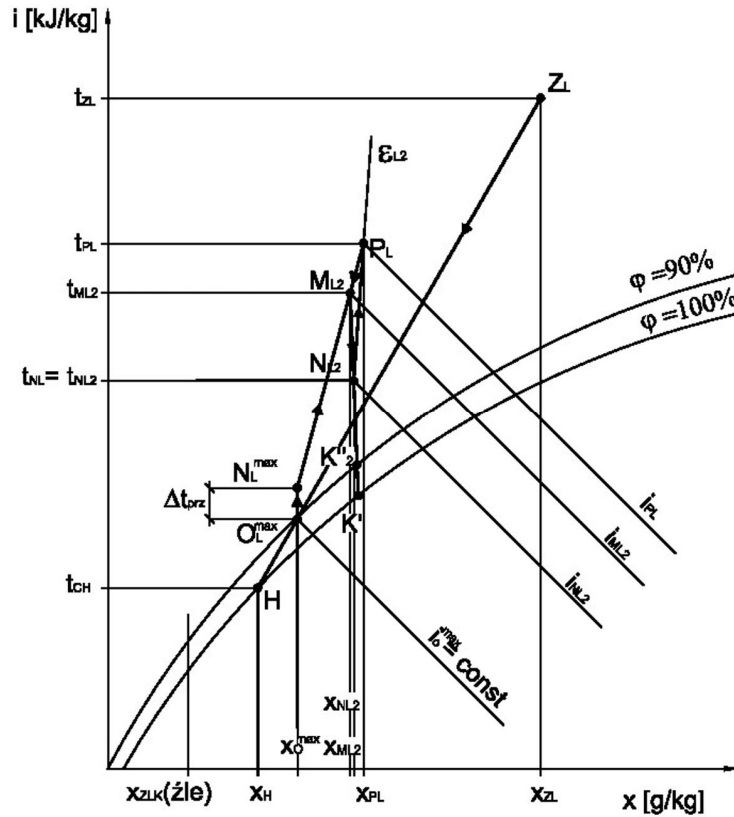
Zakłada się dopuszczalną różnicę temperatur  $\Delta t_L$  pomiędzy temperaturą w pomieszczeniu  $t_{PL}$  a temperaturą nawiewu  $t_{NL}$  dla różnych pomieszczeń, ze względu na zastosowany system rozdziału powietrza w pomieszczeniu według [1]  $\Delta t_L = 2 \div 8$ °C:

$$\Delta t_L = t_{PL} - t_{NL} \text{ [°C]} \quad (9)$$

Oblicza się temperatury powietrza nawiewanego dla wszystkich pomieszczeń  $t_{NL1}$ ,  $t_{NL2}$ . Dla uproszczenia analizy przyjmuje się  $\Delta t_{L1} = \Delta t_{L2}$  i  $t_{NL1} = t_{NL2} = t_{NL}$ . Prowadzi się prostą procesu  $\epsilon_{Li}$  dla każdego pomieszczenia przez punkt  $P_L$  i na przecięciu z linią  $t_{NL} = \text{const}$ . otrzymuje parametry powietrza nawiewanego



do pomieszczenia po przejściu przez klimakonwektor. Otrzymuje się punkty  $N_{L1}$ ,  $N_{L2}$ , którym odpowiada zawartość wilgoci  $x_{NL1}$  i  $x_{NL2}$ .



Rys. 6. Przemiany stanu powietrza na wykresie i-x powietrza wilgotnego dla pomieszczenia 2 w okresie letnim ( $\epsilon_{L2} \leq \epsilon_{L1}$ )

Linia  $N_L^{max}P_L$  charakteryzuje proces mieszania się powietrza zewnętrznego uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej z powietrzem wewnętrznym (recyrkulacyjnym) przez klimakonwektor.

Następnie oblicza się niezbędną wydajność powietrza nawiewanego dla każdego pomieszczenia  $G_{OLi}$ , ze wzoru:

$$G_{OLi} = G_{OLi} \cdot (\Delta Q_{CLi}) = \Delta Q_{CLi} / \{\rho \cdot (i_{PL} - i_{NLi})\} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (10)$$

lub ze wzoru:

$$G_{OLi} = G_{OLi} \cdot (W_{CLi}) = W_{CLi} / \{\rho \cdot (x_{PL} - x_{NLi})\} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (11)$$

Niedokładność A, której nie uwzględniono przy budowie procesów na wykresie i-x powietrza wilgotnego, wynikająca ze zmiany stanu powietrza, oblicza się ze wzoru:

$$|A| = 100\% \cdot \{G_{OLi} \cdot (\Delta Q_{CLi}) - G_{OLi} \cdot (W_{CLi})\} / G_{OLi} \cdot (\Delta Q_{CLi}) \quad (12)$$

Oblicza się niezbędną wydajność powietrza recyrkulacyjnego uzdatnionego przez klimakonwektor dla każdego pomieszczenia, ze wzoru:

$$G_{rLi} = G_{OLi} \cdot (\Delta Q_{CLi}) - G_{Li} \quad (13)$$

Oblicza się ilość wilgoci  $\Delta W_{rLi}$  do usunięcia w klimakonwektorze dla każdego pomieszczenia, która nie może być usunięta z powietrzem zewnętrznym, ze wzoru:

$$\Delta W_{rLi} = W_{CLi} - G_{Li} \cdot \rho \cdot (x_{ZL} - x_O^{\max}) \text{ [g/s]} \quad (14)$$

Dla każdego pomieszczenia ustala się punkt  $M_{Li}$ , który charakteryzuje proces mieszania się powietrza zewnętrznego uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej z powietrzem wewnętrznym (recyrkulacyjnym), zawartość wilgoci w punkcie  $M_{Li}$  oblicza się ze wzoru (3):

$$x_{MLi} = (G_{Li} \cdot x_O^{\max} + G_{rLi} \cdot x_{PL}) / (G_{Li} + G_{rLi}) \text{ [g/kg]}.$$

Na przecięciu się linii  $P_L N_L^{\max}$  z linią  $x_{MLi} = \text{const.}$  otrzymuje się punkt stanu mieszaniny  $M_{Li}$  powietrza zewnętrznego uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej z powietrzem wewnętrznym (recyrkulacyjnym) przed chłodnicą klimakonwektora. Linia  $M_{Li} K''_i$  przechodząca przez punkt  $N_{Li}$  charakteryzuje proces chłodzenia powietrza stanem p.  $M_{Li}$  w ilości  $G_{K''_i}$  w chłodnicy powierzchniowej w klimakonwektorze z wykropleniem wilgoci (rys. 2.) oraz proces mieszania tego strumienia ze strumieniem powietrza płynącego po obejściu stanem punktu  $M_{Li}(G_{OBi})$ . Punkt  $K'$  charakteryzuje temperaturę powierzchni chłodnicy powierzchniowej. Jeżeli  $x_{K'} < x_O^{\max}$ , to proces chłodzenia, a zarazem osuszania w chłodnicy powierzchniowej klimakonwektora nie może być realizowany, wtedy powietrze trzeba osuszać sorbentami. Ilość powietrza przepływającego przez chłodnicę  $G_{K''_i}$  dla i-klimakonwektora można obliczyć ze wzoru:

$$G_{OLi} \cdot i_{NLi} = G_{OBi} \cdot i_{MLi} + G_{K''_i} \cdot i_{K''_i}$$

Punkt  $N_{Li}$  otrzymuje się po mieszanii powietrza stanem punktów  $M_{Li}$  i  $K''_i$ . Sumaryczną wydajność powietrza zewnętrznego oblicza się ze wzoru:

$$G_{LZ} = \sum G_{Li} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (15)$$

Moc chłodniczą potrzebną do ochładzania powietrza w klimakonwektorach oblicza się ze wzoru:

$$Q_{CHi} = G_{K'1} \cdot \rho \cdot (i_{MLi} - i_{NLi}) \text{ [kW]} \quad (16)$$

Strumień chłodu  $Q_{CH}$  potrzebny do ochładzania powietrza nawiewanego do pomieszczenia oblicza się ze wzoru:

$$Q_{CH} = Q_{CHZ} + \sum Q_{CHi} \text{ [kW]} \quad (17)$$

gdzie:

$$Q_{CHZ} = G_{LZ} \cdot \rho \cdot (i_{ZL} - i_o^{\max}) \text{ [kW]} \quad (18)$$

### **3. Przykład projektowania parametrów powietrza w systemach klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor z zyskami ciepła w lecie**

**Dane wyjściowe** to: okres letni – miasto Rzeszów, strefa klimatyczna II, miesiąc lipiec, godzina obliczeniowa 15<sup>00</sup>:

- parametry powietrza zewnętrznego wg normy PN-78/B-03420[3]
  - temperatura powietrza –  $t_{ZL} = 30^{\circ}\text{C}$ ,
  - wilgotność względna powietrza –  $\phi_{ZL} = 45\%$ ,
  - entalpia właściwa powietrza –  $i_{ZL} = 60,7 \text{ kJ/kg}$ ,
  - zawartość wilgoci –  $x_{ZL} = 11,9 \text{ g/kg}$ ,
  - odchyłka temperatury ze względu na godzinę obliczeniową –  $\Delta t_s = 0^{\circ}\text{C}$ ,
- parametry powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach (w przykładzie dwa różne pomieszczenia) PN-76/B-03421 [4]. Aby zapewnić komfort cieplny w strefie przebywania ludzi, należy utrzymać na odpowiednim poziomie następujące parametry
  - temperaturę powietrza wewnętrznego we wszystkich pomieszczeniach równą  $t_{PL} = 23^{\circ}\text{C}$ ,
  - wilgotność względną powietrza we wszystkich pomieszczeniach równą  $\phi_{PL} = 55\%$ ,
  - prędkość powietrza mniejszą od –  $v_L = 0,4 \text{ m/s}$ ,
- parametry technologiczne
  - zyski ciepła całkowitego odpowiednio w pomieszczeniach 1, 2 –  $\Delta Q_{CL1} = 7,2 \text{ kW}$ ,  $\Delta Q_{CL2} = 6,7 \text{ kW}$ ,

- zyski wilgoci odpowiednio w pomieszczeniach 1, 2 –  $W_{CL1} = 0,5 \text{ g/s}$ ,  $W_{CL2} = 0,694 \text{ g/s}$ ,
- niezbędny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego, ze względów higienicznych zalecany do zapewnienia odczucia komfortu i świeżości, odpowiednio w pomieszczeniach 1, 2 –  $G_{L1} = 0,01157 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $G_{L2} = 0,0926 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### Obliczenia i budowa procesu na wykresie i-x powietrza wilgotnego

Schemat systemu klimatyzacji jest przedstawiony na rys. 1. Na wykresie i-x powietrza wilgotnego (rys. 7. i 8.) zaznacza się punkty stanu powietrza:

- zewnętrznego –  $Z_L$ ,
- wewnętrznego –  $P_L$ .

Oblicza się współczynniki kierunkowe przemiany stanu powietrza dla wszystkich pomieszczeń  $\varepsilon_{Li}$ , ze wzoru (5):

- dla pomieszczenia 1 (rys. 7.)

$$\varepsilon_{L1} = \Delta Q_{CL1} / W_{CL1} = 7,2 \text{ kW} / 0,5 \text{ g/s} = 14400 \text{ kJ/kg},$$

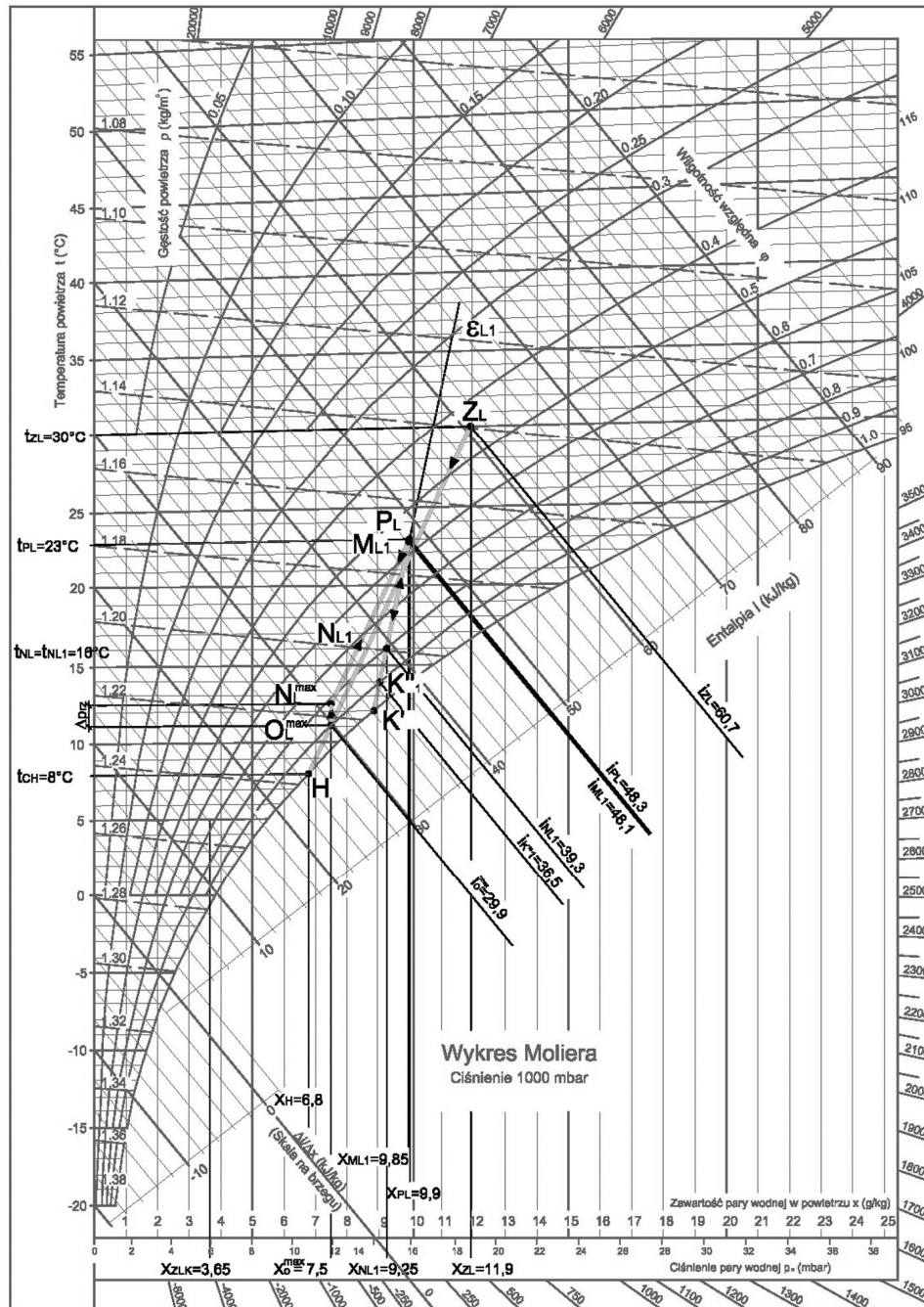
- dla pomieszczenia 2 (rys. 8.)

$$\varepsilon_{L2} = \Delta Q_{CL2} / W_{CL2} = 6,7 \text{ kW} / 0,69 \text{ g/s} = 9710 \text{ kJ/kg}.$$

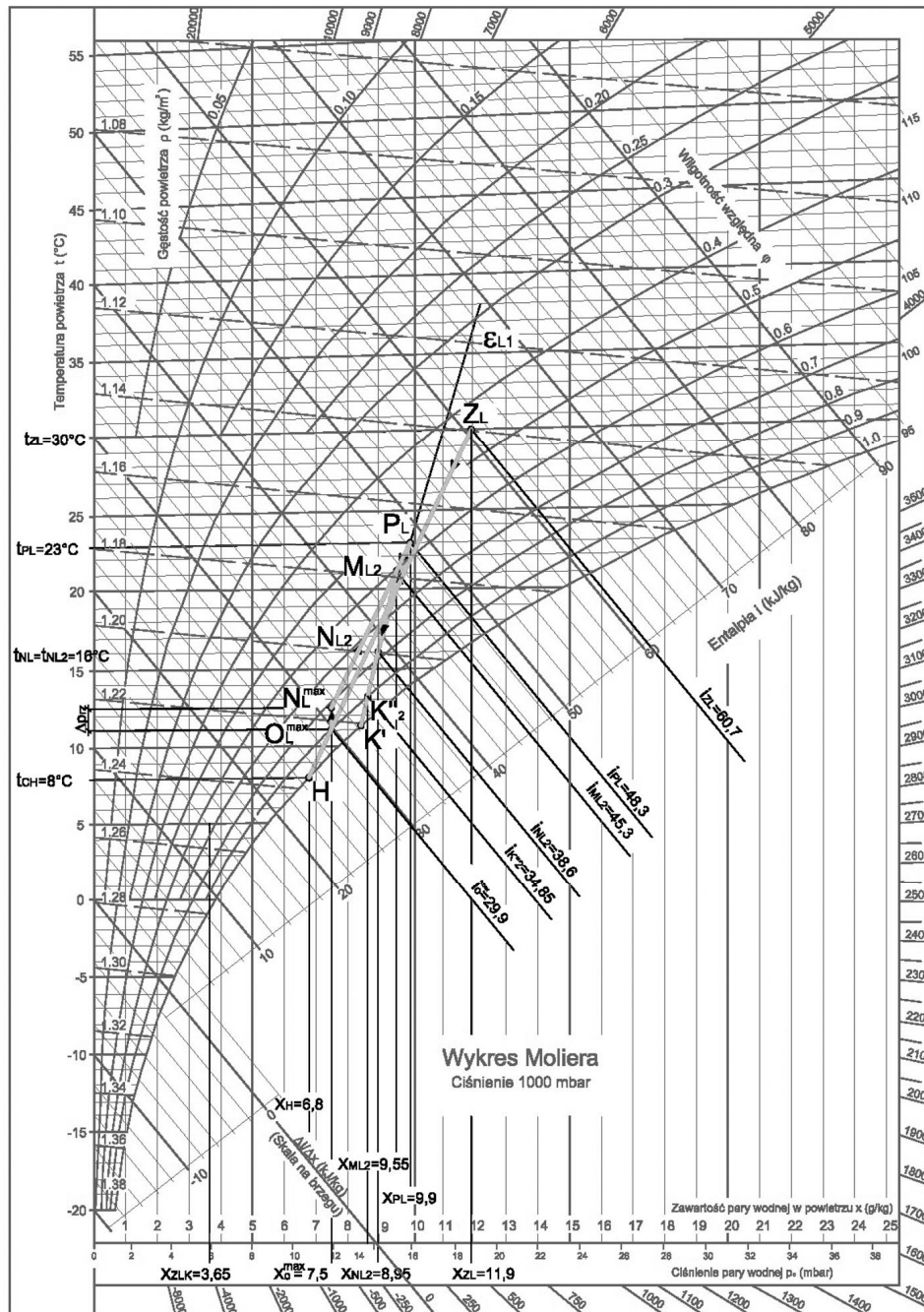
Zaznacza się linie stanu temperatury powierzchni chłodzącej chłodnicy powierzchniowej  $t_{CH} = \text{const.}$ , przyjmując [1]:  $t_{CH} = 8^\circ\text{C}$ . Na przecięciu linii  $t_{CH} = \text{const.}$  i linii  $\phi = 100\%$  otrzymuje się punkt H, określający stan powietrza bezpośrednio koło powierzchni chłodnicy. Następnie oblicza się niezbędne parametry ochłodzonego i osuszonego powietrza zewnętrznego (niezbędny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego, ze względów higienicznych zalecany dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości) po opuszczeniu centrali klimatyzacyjnej, potrzebne do usunięcia zysków wilgoci; do obliczeń bierze się zyski wilgoci  $W_{CL2}$  dla pomieszczenia 2, w którym są one największe [2]. Zawartość wilgoci w powietrzu zewnętrznym przed klimakonwektorami oblicza się ze wzoru (8):

$$\begin{aligned} x_{ZLK} &= x_{PL} - W_{CL2} / (\rho \cdot G_{L2}) = 9,9 \text{ g/kg} - 0,69 \text{ g/s} / (1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0926 \text{ m}^3/\text{s}) = \\ &= 9,9 \text{ g/kg} - 6,21 \text{ g/kg} = 3,69 \text{ g/kg}. \end{aligned}$$

Zyski wilgoci  $W_{CL2}$  nie mogą być usunięte z powietrzem zewnętrznym (są zbyt duże, świadczy o tym wartość  $x_{ZLK} = 3,65 < x_H = 6,8 \text{ g/kg}$ ). Na przecięciu się linii  $Z_LH$  z linią  $\phi = (90 \div 95)\%$  otrzymuje się parametry powietrza zewnętrznego częściowo osuszonego, na przykład w komorze zraszania (punkt  $O_L^{\max}$ ).



Rys. 7. Przemiany stanu powietrza na wykresie i-x powietrza wilgotnego dla pomieszczenia 1 w okresie lata



Rys. 8. Przemiany stanu powietrza na wykresie  $i$ - $x$  powietrza wilgotnego dla pomieszczenia 2 w okresie lata

Zakłada się ogrzewanie powietrza w wentylatorze nawiewnym centrali klimatyzacyjnej i w przewodach  $\Delta t_{prz} = 1,5^\circ\text{C}$  [5], odkłada odpowiedni odcinek do góry po linii  $x_o^{\max} = \text{const.}$  od punktu  $O_L^{\max}$  i otrzymuje punkt  $N_L^{\max}$  (parametry powietrza zewnętrznego przed klimakonwektorami).

Zakłada się dopuszczalną różnicę temperatur pomiędzy temperaturą w pomieszczeniu a temperaturą nawiewu  $\Delta t_L$ , przyjmując  $\Delta t_L = 7^\circ\text{C}$ . Stąd ze wzoru (9) otrzymuje się:

$$t_{NL} = t_{PL} - \Delta t_L = 23 - 7 = 16^\circ\text{C}.$$

Oblicza się temperaturę powietrza nawiewanego dla wszystkich pomieszczeń  $t_{NL1}$ ,  $t_{NL2}$ . Dla uproszczenia analizy przyjmuje się  $\Delta t_{L1} = \Delta t_{L2}$  i  $t_{NL1} = t_{NL2} = t_{NL}$ . Prowadzi się prostą procesu  $\varepsilon_{Li}$  dla każdego pomieszczenia przez punkt  $P_L$  i na przecięciu z linią  $t_{NL} = \text{const.}$  otrzymuje parametry powietrza nawiewanego po opuszczeniu klimakonwektora. Otrzymuje się punkty  $N_{L1}$ ,  $N_{L2}$  odpowiadające zawartości wilgoci  $x_{NL1}$  i  $x_{NL2}$ .

Linia  $N_L^{\max} P_L$  charakteryzuje proces mieszania się powietrza zewnętrznego uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej z powietrzem wewnętrznym (recyrkulacyjnym). Oblicza się niezbędną wydajność powietrza nawiewanego dla każdego pomieszczenia  $G_{Oli}$ , ze wzorów (10) i (11):

- dla pomieszczenia 1

$$\begin{aligned} G_{OL1} (\Delta Q_{CL1}) &= \Delta Q_{CL1} / \{\rho \cdot (i_{PL} - i_{NL1})\} = \\ &= 7,2 \text{ kW} / \{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (48,3 \text{ kJ/kg} - 39,3 \text{ kJ/kg})\} = \\ &= 0,666 \text{ m}^3/\text{s}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{OII} (W_{CL1}) &= W_{CL1} / \{\rho \cdot (x_{PL} - x_{NL1})\} = \\ &= 05 \text{ g/s} / \{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (9,9 \text{ g/kg} - 9,25 \text{ g/kg})\} = 0,641 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

Niedokładność A, której nie uwzględniono przy budowie procesów na wykresie i-x powietrza wilgotnego, wynikającą ze zmiany stanu powietrza, oblicza się ze wzoru (12):

$$\begin{aligned} |A| &= 100\% \cdot \{G_{OII} \cdot (\Delta Q_{CH1}) - G_{OII} \cdot (W_{CH1})\} / G_{OII} \cdot (\Delta Q_{CH1}) = \\ &= 100\% \cdot \{0,666 - 0,641\} / 0,666 = 3,75\%, \end{aligned}$$

- dla pomieszczenia 2

$$\begin{aligned} G_{OL2} (\Delta Q_{CL2}) &= \Delta Q_{CL2} / \{\rho \cdot (i_{PL} - i_{NL2})\} = \\ &= 6,7 \text{ kW} / \{1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (48,3 \text{ kJ/kg} - 38,6 \text{ kJ/kg})\} = \\ &= 0,576 \text{ m}^3/\text{s}, \end{aligned}$$

$$G_{OL2} (W_{CL2}) = W_{CL2} / \{ \rho \cdot (x_{PL} - x_{NL2}) \} = \\ = 0,69 \text{ g/s} / \{ 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (9,9 \text{ g/kg} - 8,95 \text{ g/kg}) \} = 0,605 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$|A| = |100\% \cdot \{ G_{OL2} \cdot (\Delta Q_{CL2}) - G_{OL2} \cdot (W_{CL2}) \} / G_{OL1} \cdot (\Delta Q_{CL2})| = \\ = |100\% \cdot \{ 0,576 - 0,605 \} / 0,576| = 5\%.$$

Oblicza się niezbędną wydajność powietrza recyrkulacyjnego uzdatnionego przez klimakonwektor dla każdego pomieszczenia, ze wzoru (13):

$$G_{rL1} = G_{OL1} \cdot (\Delta Q_{CL1}) - G_{L1} = 0,666 \text{ m}^3/\text{s} - 0,01157 \text{ m}^3/\text{s} = 0,654 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$G_{rL2} = G_{OL2} \cdot (\Delta Q_{CL2}) - G_{L2} = 0,576 \text{ m}^3/\text{s} - 0,0926 \text{ m}^3/\text{s} = 0,484 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Oblicza się ilość wilgoci  $\Delta W_{rLi}$  do usunięcia w klimakonwektorze dla każdego pomieszczenia, która nie może być usunięta z powietrzem zewnętrznym, ze wzoru (14):

- pomieszczenie 1

$$\Delta W_{rL1} = W_{C,L1} - G_{L1} \cdot \rho \cdot (x_{ZL} - x_O^{\max}) = \\ = 0,5 \text{ g/s} - 0,01157 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (9,9 \text{ g/kg} - 7,5 \text{ g/kg}) = \\ = 0,5 \text{ g/s} - 0,0333 \text{ g/s} = 0,47 \text{ g/s},$$

- pomieszczenie 2

$$\Delta W_{rL2} = W_{C,L2} - G_{L2} \cdot \rho \cdot (x_{ZL} - x_O^{\max}) = \\ = 0,69 \text{ g/s} - 0,0926 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (9,9 \text{ g/kg} - 7,5 \text{ g/kg}) = \\ = 0,69 \text{ g/s} - 0,265 \text{ g/s} = 0,42 \text{ g/s}.$$

Dla każdego pomieszczenia ustala się punkty  $M_{L1}$  i  $M_{L2}$ , które charakteryzują proces mieszania się powietrza zewnętrznego uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej z powietrzem wewnętrznym (recyrkulacyjnym), i oblicza ze wzoru (3):

- dla pomieszczenie 1 (rys. 7.)

$$x_{ML1} = (G_{L1} \cdot x_{NL} + G_{rL1} \cdot x_{PL}) / (G_{L1} + G_{rL1}) = \\ = (0,01158 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 7,5 \text{ g/kg} + 0,654 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 9,9 \text{ g/kg}) / (0,01158 \text{ m}^3/\text{s} + \\ + 0,654 \text{ m}^3/\text{s}) = 9,85 \text{ g/kg},$$

- dla pomieszczenia 2 (rys. 8.)

$$x_{ML2} = (G_{L2} \cdot x_{NL} + G_{rL2} \cdot x_{PL}) / (G_{L2} + G_{rL2}) = \\ = (0,0926 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 7,5 \text{ g/kg} + 0,484 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 9,9 \text{ g/kg}) / (0,0926 \text{ m}^3/\text{s} + \\ + 0,484 \text{ m}^3/\text{s}) = 9,51 \text{ g/kg}.$$



Na przecięciu się linii  $P_L N_L^{\max}$  z linią  $x_{MLi} = \text{const.}$  otrzymuje się punkty stanu mieszaniny  $M_{Li}$  powietrza zewnętrznego uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej z powietrzem wewnętrznym (recyrkulacyjnym) przed chłodnicą klimakonwektora. Linia  $M_{Li} K''_i$  przechodząca przez punkt  $N_{Li}$  charakteryzuje proces chłodzenia powietrza w chłodnicy powierzchniowej (rys. 2.) w klimakonwektorze z wykropleniem wilgoci oraz mieszaninie strumieni powietrza: płynącego po obejściu stanu punktu  $M_{Li}$  ( $G_{OBi}$ ) i strumienia powietrza stanu punktu  $K''_i$  ( $G_{K''i}$ ) po opuszczeniu chłodnicy powierzchniowej klimakonwektora. Punkt  $K'$  charakteryzuje temperaturę powierzchni chłodnicy powierzchniowej. Ilość powietrza przepływającego przez chłodnicę  $G_{K''i}$  można obliczyć ze wzoru analogicznego do wzoru (4):  $G_{OLi}(\Delta Q_{CLi}) \cdot i_{NLi} = G_{OBi} \cdot i_{MLi} + G_{K''i} \cdot i_{K''i}$ . Po przekształceniu otrzymuje się  $G_{OLi}(\Delta Q_{CLi}) \cdot i_{NLi} = \{G_{OLi}(\Delta Q_{CLi}) - G_{K''i}\} \cdot i_{MLi} + G_{K''i} \cdot i_{K''i}$ :

- dla pomieszczenia 1

$$0,666 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 39,3 \text{ kJ/kg} = (0,666 \text{ m}^3/\text{s} - G_{K''1}) \cdot 36,5 \text{ kJ/kg} + G_{K''1} \cdot 48,1 \text{ kJ/kg} \\ \rightarrow G_{K''1} = 0,16 \text{ m}^3/\text{s},$$

- dla pomieszczenia 2

$$0,576 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 38,6 \text{ kJ/kg} = (0,576 \text{ m}^3/\text{s} - G_{K''2}) \cdot 34,85 \text{ kJ/kg} + \\ + G_{K''2} \cdot 45,3 \text{ kJ/kg} \rightarrow G_{K''2} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Punkty  $N_{L1}$  i  $N_{L2}$  otrzymuje się po mieszanii powietrza w punktach  $M_{L1}$ ,  $M_{L2}$  i  $K''_1$ ,  $K''_2$ . Sumaryczną wydajność powietrza zewnętrznego oblicza się ze wzoru (15):

$$G_{LZ} = \sum G_{Li} = 0,01157 \text{ m}^3/\text{s} + 0,0926 \text{ m}^3/\text{s} = 0,104 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Strumień chłodu  $Q_{CHZ}$  potrzebny do ochładzania powietrza zewnętrznego w ilości  $G_{LZ}$  oblicza się ze wzoru (18):

$$Q_{CHZ} = 0,104 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (60,7 \text{ kJ/kg} - 29,9 \text{ kJ/kg}) = 3,84 \text{ kW}.$$

Moc chłodniczą potrzebną do ochładzania powietrza w klimakonwektorach oblicza się ze wzoru (16):

- dla pomieszczenia 1 (rys. 7.)

$$Q_{CH1} = G_{K''1} \cdot \rho \cdot (i_{ML1} - i_{NL1}) = \\ = 0,16 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (48,1 \text{ kJ/kg} - 39,3 \text{ kJ/kg}) = 1,69 \text{ kW},$$

- dla pomieszczenia 2 (rys. 8.)

$$Q_{CH2} = G_{K''2} \cdot \rho \cdot (i_{ML2} - i_{NL2}) = \\ = 0,2 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (45,3 \text{ kJ/kg} - 38,6 \text{ kJ/kg}) = 1,61 \text{ kW}.$$

Strumień chłodu  $Q_{CH}$  potrzebny do ochłodzenia powietrza nawiewanego w pomieszczeniu oblicza się ze wzoru (17):

$$Q_{CH} = Q_{CHZ} + \sum Q_{CHi} = 3,84 \text{ kW} + 1,69 \text{ kW} + 1,61 \text{ kW} = 7,14 \text{ kW}.$$

#### 4. Podsumowanie

1. Została opracowana metoda projektowania parametrów powietrza w systemie klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor.
2. Została wyjaśniona zasada działania systemu klimatyzacji z centralą klimatyzacyjną i klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor.
3. Opracowano metodę projektowania zmiany stanu powietrza w systemie klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor z zyskami ciepła dla lata.
4. Opracowano przykład projektowania parametrów powietrza dla systemu klimatyzacji centralnej z klimakonwektorami wentylatorowymi z obejściem, uzdatniającymi mieszaninę powietrza z centrali klimatyzacyjnej i powietrza recyrkulacyjnego przez klimakonwektor z zyskami ciepła dla lata.

#### Literatura

- [1] Ananiew W. i inni: Systemy wentylacji i klimatyzacji. Moskwa 2001, 416 s.
- [2] Корбут В.П.: Методические указания к практическим занятиям по дисциплине „Кондиционирование воздуха и холодоснабжение”, КИСИ, Киев 1990, 74 s.
- [3] Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego. PN-78/B-03420.
- [4] Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi. PN-76/B-03421.
- [5] Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja. PWN, Warszawa 1974.

---

**THE CENTRAL AIR-CONDITIONING SYSTEM  
WITH A FAN COIL WITH THE ROUNDS OF PROCESSING AIR MIXTURE  
FROM THE AIR-CONDITIONING AND RECIRCULATION AIR  
FOR A SUMMER**

**S u m m a r y**

In this study the basics of designing changes of air condition in the central air-conditioning system with a fan coil with the rounds of processing air mixture from the air-conditioning unit and recirculation air for a summer was analysed. Furthermore, an computational example of changes of air condition in the air-conditioning system was presented.

*Założono w redakcji we wrześniu 2009 r.*