

## **Instrukcja do laboratorium z przedmiotu „Wentylacja i klimatyzacja 3”**

# **Efektywność pracy obrotowego osuszacza powietrza**

### Zawartość:

- I. Informacje wprowadzające
  - II. Cel ćwiczenia
  - III. Zakres tematyczny badań możliwych do realizacji w trakcie laboratorium
  - IV. Obrotowy osuszacz powietrza - przedmiot i metodyka badań
  - V. Stanowisko pomiarowe
  - VI. Opracowanie wyników pomiarów
  - VII. Sprawozdanie z zajęć laboratoryjnych
- Załączniki

Autor: Piotr Kowalski © 2014-2017

Wersja trzecia (marzec 2017)

Opracowanie tylko do użytku wewnętrznego

Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza Politechniki Wrocławskiej

## **I. Informacje wprowadzające**

- Każda osoba przed przystąpieniem do zajęć powinna zapoznać się z niniejszą instrukcją.
- Instrukcja ma na celu zapoznanie osób przystępujących do zajęć laboratoryjnych z informacjami niezbędnymi do wykonania ćwiczenia, a w szczególności do przeprowadzenia pomiarów i wykonania sprawozdania.
- Prowadzący, w trakcie zajęć laboratoryjnych, może sprawdzić znajomość niniejszej instrukcji i tematyki ćwiczenia laboratoryjnego zadając pytania w formie pisemnej lub ustnej.
- Szczegółowy zakres ćwiczenia dla każdej grupy laboratoryjnej poda prowadzący w trakcie zajęć laboratoryjnych.
- Na zajęcia laboratoryjne należy przynieść:
  - przybory do pisania,
  - papier,
  - linijkę,
  - kalkulator.
- Ocena z laboratorium „Efektywność pracy obrotowego osuszacza powietrza” jest wystawiana indywidualnie dla każdego na podstawie: znajomości instrukcji i tematyki ćwiczenia laboratoryjnego, poprawności wykonanych pomiarów oraz sprawozdania.

## **II. Cel ćwiczenia**

Celem ćwiczenia jest analiza efektywności pracy obrotowego osuszacza powietrza w odniesieniu do jego zastosowań w systemach klimatyzacyjnych. Ćwiczenie pozwoli również na zapoznanie się z budową urządzenia oraz procesami wymiany ciepła i masy w nim zachodzącymi.

## **III. Zakres tematyczny badań możliwych do realizacji w trakcie laboratorium**

Badanie wpływu zmiany poniższych wielkości na efektywność pracy obrotowego osuszacza powietrza.

- a) prędkości obrotowej rotora,
- b) temperatury powietrza procesowego,
- c) temperatury powietrza regeneracyjnego,
- d) strumienia powietrza procesowego,

- e) strumienia powietrza regeneracyjnego,
- f) zmiany ilości dostarczanej energii do regeneracji wypełnienia osuszacza.

#### **IV. Obrotowy osuszacz powietrza – przedmiot i metodyka badań**

##### **IV.I. Wstęp teoretyczny**

Osuszacz powietrza to wymiennik ciepła i masy należący do grupy obrotowych urządzeń wentylacyjnych do odzysku energii cieplnej jawnej i/lub utajonej. W nomenklaturze branżowej nazywany jest również aktywnym wymiennikiem ciepła i masy ze względu na konieczność dostarczenia do jego pracy strumienia powietrza regeneracyjnego o wysokiej temperaturze. Z pośród innych wymienników wyróżnia się bardzo dużym stopniem skomplikowania procesów wymiany ciepła i wilgoci zachodzących między powietrzem a wypełnieniem [1].

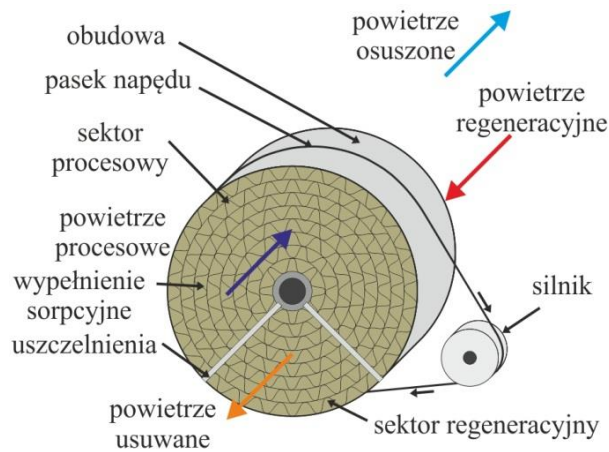
Osuszacze sorpcyjne różniące się konstrukcją oraz konfiguracją można podzielić na grupy [2]:

- z płynnym sorbentem z wieżą natryskową,
- ze stałym sorbentem z kolumną z wypełnieniem,
- obrotowe ze złożem poziomym,
- wieloczęściowe ze złożem pionowym,
- obrotowe ze złożem typu „plastra miodu”.

Urządzenia te dedykowane są do różnych obszarów zastosowań. W instalacjach klimatyzacyjnych jednym z najczęściej stosowanych urządzeń jest osuszacz obrotowy ze złożem typu „plastra miodu” [3].

Obrotowy osuszacz powietrza jest typowym urządzeniem klimatyzacyjnym, którego podstawowe elementy to (rys. 1), (np.[1,4]):

- wypełnienie sorpcyjne,
- kasetę rotora,
- elementy oddzielające sektory przepływu powietrza,
- silnik elektryczny z przekładnią oraz paskiem napędowym.



Rys. 1 Schemat obrotowego osuszacza powietrza [1]

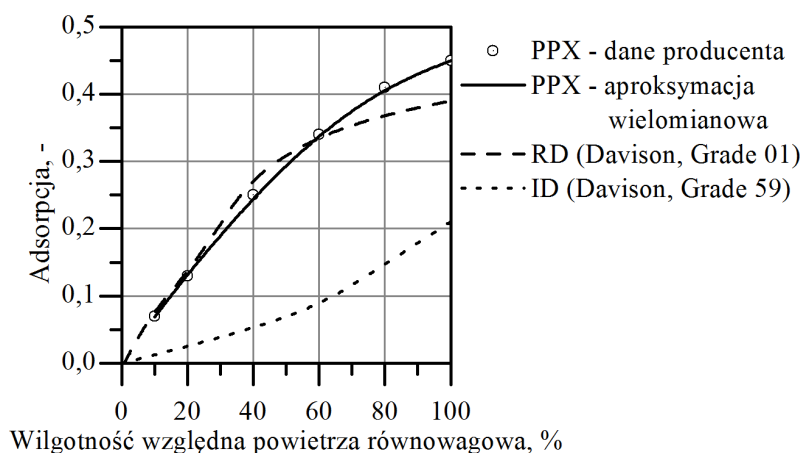
Najistotniejszym elementem urządzenia jest wypełnienie sorpcyjne. Składa się ono z materiału podstawowego (sorpcyjnego) takiego jak chlorek litu, chlorek sodu, silikażel, polimerowe sita molekularne czy aluminium aktywowane oraz z materiału pomocniczego takiego jak materiały włókniste czy folie aluminiowe, którego głównym zadaniem jest stabilizacja materiału sorpcyjnego [1]. Materiał sorpcyjny formowany jest w cienkościenne kanały o kształcie przeważnie zbliżonym do sinusoidalnego, które tworzą mocno rozwiniętą strukturę o dużej powierzchni wymiany ciepła i masy.

Na powierzchni lub w strukturze materiału sorpcyjnego zachodzą procesy odpowiednio adsorpcji lub absorpcji umożliwiające zaadsorbowanie lub zaabsorbowanie pary wodnej z powietrza. W powszechnie stosowanych osuszaczach materiałem sorpcyjnym jest silikażel (ciało stałe), w którym zachodzą procesy adsorpcji. Dla wspomnianego przypadku będą w dalszej części scharakteryzowane procesy wymiany ciepła i masy.

Proces adsorpcji zachodzi z różną szybkością. W początkowym stadium, kiedy dostępnych jest dużo wolnych przestrzeni w strukturze materiału sorpcyjnego, zachodzi on szybko. W miarę jego trwania coraz więcej cząsteczek zostaje odbitych i nie ulega adsorpcji tylko desorpcji. Po pewnym czasie osiągnany jest stan równowagi między adsorpcją i desorpcją. Oznacza to, że liczba cząsteczek, które zostają zaadsorbowane jest taka sama jak tych, które ulegają desorpcji [5]. Proces adsorpcji lub desorpcji zachodzi, zatem wtedy, kiedy istnieje różnica

między ciśnieniami cząstkowymi pary we wnętrzu porów oraz w otaczającym powietrzu [6].[1]

Każdy materiał sorpcyjny (adsorbent) może zaadsorbować określoną ilość substancji (adsorptywu). Adsorpcja czyli ilość zaadsorbowanej substancji przypadającej na jednostkę masy adsorbentu [7] jest charakterystyczna dla danej pary adsorbentu - adsorbentu (substancji pochłoniętej przez adsorbent) i zależy od warunków termodynamicznych w jakich zostaje przeprowadzana. Graficznie, związek między zawartością wilgoci materiału (adsorpcja) i odpowiadającym jej ciśnieniem cząstkowym pary w otoczeniu (wyrażonym wilgotnością względną powietrza) przy określonej temperaturze [6] przedstawia izoterma sorpcji. Izoterme sorpcji dla różnych silikażeli przedstawiono na rys. 2.



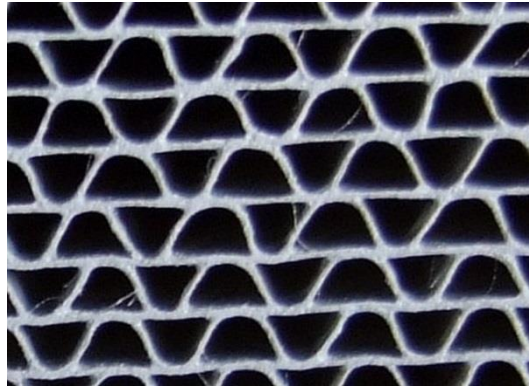
Rys. 2 Izoterma adsorpcji różnych silikażeli (RD i ID) wg wzorów aproksymacyjnych [8] oraz materiału użytego do badań (PPX) [1]

Z rys. 2 wynika ile dany materiał sorpcyjny jest w stanie zaadsorbować wilgoci przy danej wilgotności względnej powietrza.

Bardzo istotnym parametrem termodynamicznym charakterystycznym dla danego materiału sorpcyjnego jest ciepło adsorpcji. Uwalnia się ono w momencie pochłaniania wilgoci przez materiał sorpcyjny i dla analizowanego adsorbentu przy adsorpcji pary wodnej przyjmuje wartości nieznacznie większe od ciepła parowania wody w stanie gazowym. Jego wartość, zatem zależy od ilości pochłoniętej wilgoci przez materiał wypełnienia (maleje wraz ze wzrostem wilgotności) oraz od temperatury (maleje wraz ze wzrostem temperatury). Uwalniające się ciepło adsorpcji

tłumaczy fakt, dlaczego kształt przemiany osuszania na wykresie h-x odbiega od adiabatycznego.

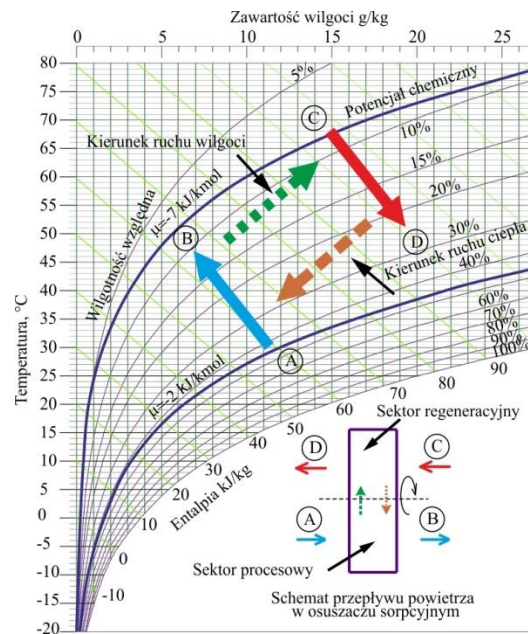
Procesy wymiany ciepła i masy zachodzą pomiędzy adsorberem i powietrzem go otaczającym odbywają się na drodze kontaktu powietrza przepływającego przez uformowane z materiału sorpcyjnego kanały, z powierzchnią tychże kanałów. Fragment wypełnienia złożonego z uformowanych kanałów przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Widok w powiększeniu fragmentu analizowanego wypełnienia sorpcyjnego (wypełniwnie PPX firmy ProFlute) [1]

Wymiana ciepła i masy w adsorpcyjnym obrotowym osuszaczu powietrza przebiega w taki sposób, że strumień powietrza procesowego ulega osuszeniu oraz podgrzaniu, a strumień powietrza regeneracyjnego - nawilżeniu oraz ochłodzeniu (rys. 4).

Opis procesów wymiany masy jest możliwy przy zastosowaniu odpowiedniego potencjału transportu masy. Właściwym potencjałem wymiany masy stosowanym w tego typu procesach w obszarze higroskopijnych ciał porowatych [10,11] jest gradient potencjału chemicznego, który zastosowano w pracy [1] i przedstawiono na rys. 4. Zastosowanie potencjału chemicznego umożliwia poprawny i pełny opis procesów wymiany masy między materiałem sorpcyjnym i powietrzem.



Rys. 4. Przemiany parametrów termodynamicznych powietrza w obrotowym osuszaczu powietrza [9]

W ćwiczeniu laboratoryjnym jednak nie ma konieczności stosowania potencjału chemicznego, ponieważ analizie zostaną poddane głównie makroskopowe bilanse strumienia ciepła i masy odniesione do powietrza i sformułowane w oparciu o odpowiednie różnice temperatur i zawartości wilgoci.

#### IV.II. Wskaźniki efektywności pracy obrotowego osuszacza powietrza

Na potrzeby niniejszego laboratorium proponuje się wykorzystanie poniżej przytoczonych zależności.

Stopień osuszania

$$\Delta x_p = (x_{p,proc} - x_{p,osu}) \cdot 10^3, \text{ g}_{pw}/\text{kg}_{ps} \quad (1)$$

Strumień wilgoci usuwanej przy osuszaniu [3,12,13]

$$MRC = \dot{m}_{ps,1} (x_{p,proc} - x_{p,osu}), \text{ kg}_{pw}/\text{h} \quad (2)$$

Strumień ciepła jawnego potrzebnego do regeneracji wypełnienia

$$Q_{reg} = \dot{m}_{ps,2} c_{pp,2} (t_{p,reg} - t'_{p,reg}), \text{ kW} \quad (3)$$

Gdzie,  $t'_{p,reg}$  - temperatura powietrza przed dostarczeniem energii do jego podgrzania, °C. W obliczeniach założyć, że  $t'_{p,reg} = 25$  °C.

Wskaźnik  $Q_{reg}/MRC$  definiowany przez udział strumienia ciepła jawnego potrzebnego do regeneracji wypełnienia do strumienia wilgoci usuwanej przy osuszaniu [14]

$$Q_{reg}/MRC = \frac{\dot{m}_{ps,2} c_{pp,2} (t_{p,reg} - t'_{p,reg})}{\dot{m}_{ps,1} (x_{p,proc} - x_{p,osu})}, \text{ kW}/(\text{kg}/\text{h}) \quad (4)$$

Gdzie,  $t'_{p,reg}$  - temperatura powietrza przed dostarczeniem energii do jego podgrzania, °C. W obliczeniach założyć, że  $t'_{p,reg} = 25$  °C.

Zawartość wilgoci w powietrzu

$$x_p = 0,621945 \frac{\varphi_p p_{sp}}{P_b - \varphi_p p_{sp}}, \text{ kg}_{pw}/\text{kg}_{ps} \quad (5)$$

Ciśnienie pary wodnej nasyconego powietrza w zakresie temperatur od 0 °C do 200 °C z [15]:

$$\ln p_{sp} = \frac{C_1}{T_p} + C_2 + C_3 T_p + C_4 T_p^2 + C_5 T_p^3 + C_6 \ln T_p, \text{ Pa} \quad (6)$$

$$p_{sp} = e^{\ln p_{sp}}, \text{ Pa}$$

Gdzie,  $C_1 = -5,8002206 \cdot 10^3$ ;  $C_2 = 1,3914993$ ;  $C_3 = -4,8640239 \cdot 10^{-2}$ ;

$C_4 = 4,1764768 \cdot 10^{-5}$ ;  $C_5 = -1,4452093 \cdot 10^{-8}$ ;  $C_6 = 6,5459673$  [15].

Gęstość powietrza suchego

$$\rho_{ps} = \frac{p_b}{R_{ps} T_p}, \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (7)$$

gdzie:  $R_{ps}$  - indywidualna stała gazowa dla powietrza suchego,  $R_{ps} = 287,042$  J/(kg K) [15].



Strumień masy powietrza suchego

$$\dot{m}_{ps} = 3600 a A \rho_{ps} \sqrt{\frac{2 p_d}{\rho_{ps}}}, \text{ kg/h} \quad (8)$$

Gdzie,  $a_{\text{proc}} = 0,7710$ ;  $a_{\text{osu}} = 0,7630$ ;  $a_{\text{reg}} = 0,7421$ ;  $a_{\text{usu}} = 0,7410$ ;

$A_{\text{proc}} = 0,03142 \text{ m}^2$ ;  $A_{\text{osu}} = 0,03142 \text{ m}^2$ ;  $A_{\text{reg}} = 0,01227 \text{ m}^2$ ;  $A_{\text{usu}} = 0,01227 \text{ m}^2$ ;

Oznaczenia:  $c_{pp}$  - ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu,  $c_{pp} = 1005 \text{ J}/(\text{kg K})$ ;  $\dot{m}_{ps}$  - strumień masowy powietrza suchego w przestrzeni modelowania lub całkowity dla danego sektora,  $\text{kg/s}$ ;  $t, K$  - temperatura, °C, K;  $x_p$  - zawartość wilgoci powietrza,  $\text{kg}_{pw}/\text{kg}_{ps}$ ;  $\rho$  - gęstość,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $p_d$  - ciśnienie dynamiczne w kanale, Pa;  $A$  - powierzchnia przekroju kanału, w którym zamontowano krzyże pomiarowe,  $\text{m}^2$ ;  $p_{sp}$  - ciśnienie nasycenia pary wodnej w powietrzu, Pa;  $p_b$  - ciśnienie barometryczne,  $p_b = 101325 \text{ Pa}$ ;

Indeksy dolne: 1 - sektor procesowy; 2 - sektor regeneracyjny; p - powietrze wilgotne lub przy stałym ciśnieniu; ps - powietrze suche; pw - para wodna; wej - wejściowe; wyj - wyjściowe;

#### IV.III. Analiza błędów pomiarowych

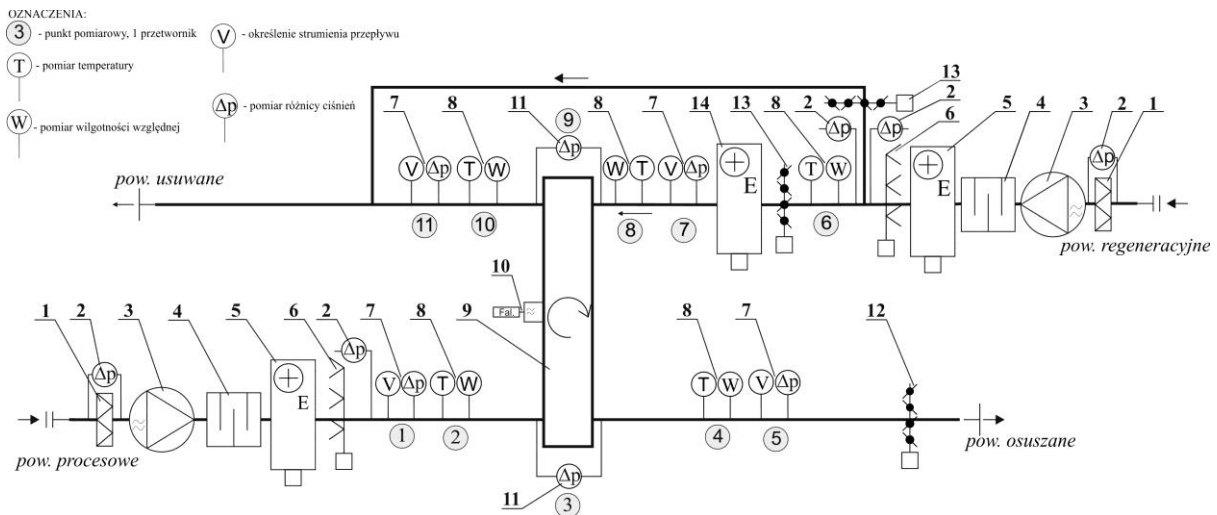
Każdy wynik pomiaru jest niepewny, dlatego należy określić i podać jego niepewność. Na niepewność wpływają różnego rodzaju błędy. Można je podzielić na przypadkowe, systematyczne i grube. Błędy grube należy wyeliminować poprzez odrzucenie podejrzanego wyniku oraz jeżeli jest to uzasadnione i możliwe, powtórzenie pomiaru. Błędy systematyczne związane są z dokładnością zastosowanej aparatury pomiarowej i układu rejestracji danych. Wpływ błędów przypadkowych należy ograniczyć poprzez wielokrotny pomiar.

W przeprowadzanych badaniach wykonuje się wielokrotny pomiar tej samej wielkości stąd, jako najlepszą estymatę wielkości prawdziwej należy przyjąć średnią arytmetyczną z serii pomiarowej.

Analizę wpływu błędów systematycznych wykonuje się poprzez szacowania niepewności pomiarów. W niniejszym ćwiczeniu laboratoryjnym można zrezygnować z wykonania wspomnianej. Należy jednak mieć na uwadze fakt występowania błędów pomiaru przy interpretowaniu wyników pomiarów.

## V. Stanowisko pomiarowe

W skład stanowiska badawczego (rys. 5 i rys. 6) wchodzi obrotowy osuszacz powietrza wraz z powietrzną siecią kanałową łączącą urządzenie ze środowiskiem zewnętrznych oraz z urządzeniami do przetłaczania oraz kształtowania warunków cieplno-wilgotnościowych powietrza. Powietrze jest dostarczane oraz usuwane odpowiednio z sekcji regeneracyjnej oraz procesowej rotora [1].



Rys. 5. Schemat stanowiska badawczego (opis oznaczeń w tekście) [1]



Rys. 6. Widok stanowiska badawczego w hali technologicznej w bud. C-6 Politechniki Wrocławskiej (zdjęcia autora) [1]

Stanowisko badawcze zlokalizowane jest w hali technologicznej budynku C-6 Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu przy ul. Norwida 4/6.

W skład stanowiska wchodzi (oznaczenia na rys. 5) [1] :

- obrotowy osuszacz powietrza firmy ProFlute typu PPX (1 szt.) (9),
- synchroniczny silnik napędowy koła rotora wraz z przekładnią typu UFR4 firmy SAIA z przemiennikiem częstotliwości typu SV001-iE5 firmy LSIS (1 szt.) (10),
- kanałowy wentylator promieniowy z silnikiem komutowanym elektronicznie typu K 315L EC firmy SYSTEMAIR (2 szt.) (3),
- elektrodowa wytwornica pary typu ElectroVap MC2 10 firmy DEVATEC wraz z lancami parowymi (2 szt.) (6),
- elektryczna nagrzewnica kanałowa typu ENO-250-9,0-3-X firmy TERMEX (2 szt.) (5),
- elektryczna, wysokotemperaturowa nagrzewnica kanałowa typu ENO-160-6,0-3-X firmy TERMEX (1 szt.) (14),
- kasetka filtracyjna typu FFR 315 z wkładem filtracyjnym klasy EU5 typu BFR 315 firmy SYSTEMAIR (2 szt.) (1),
- tłumik akustyczny okrągły typu TAO 250-600 firmy CENTRUM KLIMA (2 szt.) (4),
- przepustnica wielopłaszczyznowa typu PS 200x210 firmy SMAY (1 szt.) (12),
- przepustnica wielopłaszczyznowa typu PS 200x210 firmy SMAY wraz z siłownikiem NM 24 SR firmy Belimo (2 szt.) (13),
- presostat różnicy ciśnień DTV 200 firmy REGIN (5 szt.) (2),
- system pomiarowo-rejestracyjny oparty o sterownik swobodnie programowalny Excel 500 firmy HONEYWELL składający się z przetworników temperatury oraz wilgotności TH 200 wraz z sondami rezystancyjnymi typu Pt 100 klasy A oraz pojemnościowymi firmy KIMO (5 szt.) (8), z przetworników ciśnienia CP 301 firmy KIMO wraz z krzyżami pomiarowymi do pomiaru ciśnienia dynamicznego oraz określenia strumienia przepływu (4 szt.) (7) oraz z przetworników ciśnienia CP 201 firmy KIMO do pomiaru różnicy ciśnień statycznych (2 szt.) (11),

Zakres możliwych do zmiany nastaw:

- temperatura powietrza procesowego ( $t_{p,proc}$ ): od 16 °C do 35 °C
- temperatura powietrza regeneracyjnego ( $t_{p,reg}$ ): od 35 °C do 100 °C
- temperatura powietrza przed nagrzewnicą regeneracyjnego: od 16 °C do 35 °C
- strumień masy powietrza suchego procesowego ( $\dot{m}_{ps,1}$ ): od 400 kg/h do 750 kg/h
- strumień masy powietrza suchego regeneracyjnego ( $\dot{m}_{ps,2}$ ): od 100 kg/h do 250 kg/h
- Prędkość obrotowa rotora ( $n$ ): od 3 obr/h do 9 obr/h

## VI. Opracowanie wyników pomiarów

1. Należy wykonać pomiary temperatur, wilgotności względnej, strumieni powietrza procesowego i regeneracyjnego w charakterystycznych punktach układu (rys. 5). Pomiary należy wykonywać dla warunków quasi-ustalonych. Odczyty należy uśrednić w czasie 1 pełnego obrotu rotora.
2. Odczyty należy nanieść na wykres i-x oraz ocenić poprawność wykonanych pomiarów. Odczyty wątpliwe należy wyodrębnić.
3. Należy sporządzić wykresy zmienności wskaźników efektywności obrotowego osuszacza powietrza od badanych wielkości (*Przykładowe wykresy z analiz w załącznikach*).
4. Należy zestawić w tabeli (*wzór wg Tabela 2. Tabela z wynikami pomiarów i obliczeń*) wartości pomiarowe i obliczeniowe średnie dla 1 pełnego obrotu. Dla jednego przypadku należy przedstawić przykład obliczeniowy.
5. Należy sporządzić sprawozdanie z wykonanego laboratorium

## VII. Sprawozdanie z zajęć laboratoryjnych

Wykonanie sprawozdanie ma na celu przedstawienie w sposób uporządkowany treści realizowanych na laboratorium wraz z płynącymi z nich wnioskami. Powinno stanowić zwięzłe podsumowanie prowadzonych badań. Sprawozdanie musi, zatem zawierać:

- Stronę tytułową zawierającą nazwę ćwiczenia laboratoryjnego, Imię i Nazwisko autora (autorów) opracowania wraz z miejscem i datą jego powstania
- Listę osób uczestniczących w laboratorium, termin laboratorium, oznaczenie grupy ćwiczeniowej
- Przedstawienie problematyki ćwiczenia laboratoryjnego wraz z jego zakresem (zadaniami do wykonania) - *objętość maksymalnie 1 str. A-4*
- Przedstawienie przedmiotu badań - *objętość maksymalnie 1/4 str. A-4*
- Przedstawienie metodyki prowadzenia pomiarów i obliczeń - *niezbędne wzory, treści powinny być przedstawiane możliwie w punktach*
- Wyniki pomiarów i obliczeń - *zestawione w Tabela 2 w załącznikach oraz zaznaczone na wykresie i-x*
- Wyniki analiz wraz z wnioskami - *wyniki przedstawić na rysunkach*

Sprawozdanie należy oddać do prowadzącego dane ćwiczenie laboratoryjne w sposób z nim ustalony nie później niż do 2 tygodni po zakończeniu ćwiczenia laboratoryjnego. Po oddaniu sprawozdania należy w uzgodnionym terminie z prowadzącym sprawdzić czy sprawozdania zostało wykonane poprawnie lub czy nie wymaga poprawy.

Załączniki:

- a) Tabela 1. Karta laboratorium
- b) Tabela 2. Tabela z wynikami pomiarów i obliczeń
- c) Wykres i-x
- d) Przykładowe wykresy z analiz

## Literatura

- [1] Kowalski P., Wymiana ciepła i masy w obrotowym osuszaczu solarne systemu klimatyzacyjnego, PhD, Politechnika Wroclawska, 2013, .
- [2] Harriman III L.G., The Dehumidification Handbook, ed. Second Edition, Munters Corporation Dehumidification Division, Dehumidification Division 79 Monroe street Amesbury, MA 01913-0640 USA, 2002, s. 229.
- [3] Angrisani G., Minichiello F., Roselli C., Sasso M., Experimental analysis on the dehumidification and thermal performance of a desiccant wheel, *Appl. Energy*, 92(0), 2012, s. 563-572.
- [4] Ge T.S., Li Y., Wang R.Z., Dai Y.J., A review of the mathematical models for predicting rotary desiccant wheel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(6), 2008, s. 1485-1528.
- [5] Bansal R.C., Goyal M., Activated carbon adsorption, Taylor & Francis, Boca Raton, 2005, s. 497.
- [6] Kneule F., *Suszenie*, Arkady, Warszawa, 1970, s. 363.
- [7] Paderewski M., *Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1999, s. 308.
- [8] Pesaran A.A., Moisture transport in silica gel particle beds, PhD thesis, University of California, Los Angeles, United States - California, 1983, .
- [9] Anisimov S., Kowalski P., Matematyczny model procesów wymiany ciepła i masy w przeciwprądowym osuszaczu powietrza, *Ochrona Środowiska*, 4, 2008, s. 49-51.
- [10] Lykov A.V., Heat and mass transfer, Mir Publishers; Distributed by Imported Publications, Moscow; Chicago, 1980, s. 623.
- [11] Nikitina L.M., Parametry termodynamiczne oraz współczynniki wymiany masy materiałów wilgotnych, *Energia*, Moskwa, 1968, s. 502.
- [12] Slayzak S.J., Ryan J.P. Desiccant Dehumidification Wheel Test Guide, Technical, nr NREL/TP-550-26131, National Renewable Energy Laboratory, December 2000, s. 1-43.
- [13] Anisimov S., Kowalski P. Algorytm i moduł programu obliczeń podstawowych charakterystyk procesów wymiany ciepła i masy w rozpatrywanym urządzeniu. Raport serii SPR, nr 9, Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Politechnika Wroclawska, 2010, s. 1-24.
- [14] De Antonellis S., Joppolo C.M., Molinaroli L., Simulation, performance analysis and optimization of desiccant wheels, *Energy Build.*, 42(9), 2010, s. 1386-1393.
- [15] ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2009,

## KARTA LABORATORIUM

Data:

Godzina:

Grupa lab.

## Lista obecności

L.p.	Imię i nazwisko	Nr indeksu	Uwagi
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			

Tabela 2. Tabela z wynikami pomiarów i obliczeń\*

L.p.	$t_{p,proc}$	$\varphi_{p,proc}$	$x_{p,proc}$	$t_{p,osu}$	$\varphi_{p,osu}$	$x_{p,osu}$	$t_{p,reg}$	$\varphi_{p,reg}$	$x_{p,reg}$	$t_{p,reg,przed}$	$\varphi_{p,reg,przed}$	$x_{p,reg,przed}$	$t_{p,usu}$	$\varphi_{p,usu}$	$x_{p,usu}$	Uwagi
	°C	$\varphi_{p,osu}$	g/kg	°C	-	g/kg	°C	-	g/kg	°C	-	g/kg	°C	-	g/kg	
1.																
2.																
3.																
4.																

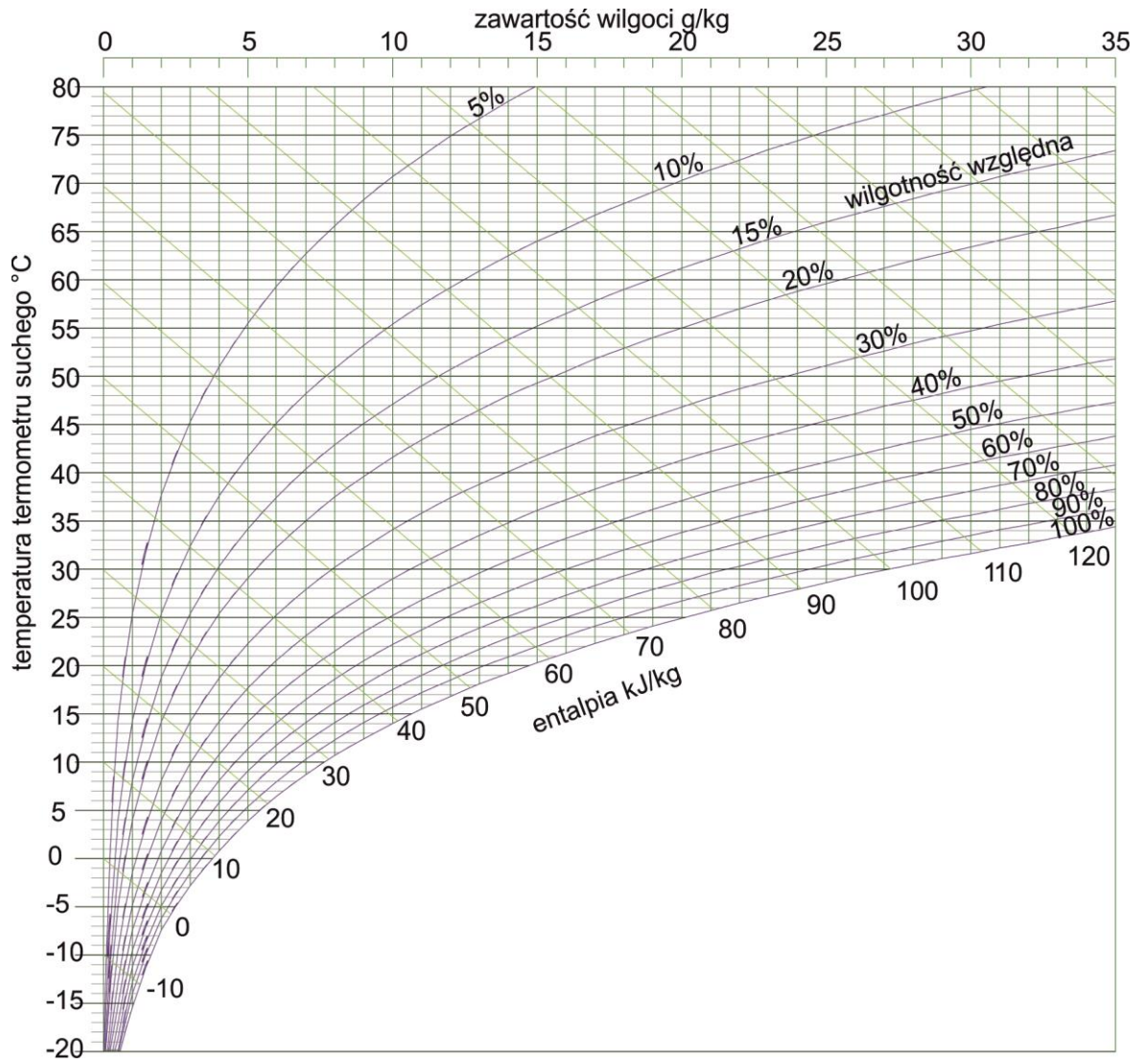
\* - w tabeli przedstawiono wartości średnie z pomiarów dla 1 pełnego obrotu rotora

Tabela 2. Tabela z wynikami pomiarów i obliczeń\*

L.p.	$p_{d,proc}$	$\dot{m}_{ps,proc}$	$p_{d,osu}$	$\dot{m}_{ps,osu}$	$p_{d,reg}$	$\dot{m}_{ps,reg}$	$p_{d,usu}$	$\dot{m}_{ps,usu}$	$\dot{m}_{ps,1}$	$\dot{m}_{ps,2}$	$\Delta p_{rot,proc}$	$\Delta p_{rot,reg}$	$n$	$\Delta x_p$	MRC	$Q_{reg}$	$Q_{reg}/MRC$	Uwagi
	Pa	kg/h	Pa	kg/h	Pa	kg/h	Pa	kg/h	kg/h	kg/h	Pa	Pa	obr/h	g/kg	kg/h	kW	kW/(kg/h)	
1.																		
2.																		
3.																		
4.																		

\* - w tabeli przedstawiono wartości średnie z pomiarów dla 1 pełnego obrotu rotora





Przykładowe wykresy z analiz