

1. Wprowadzenie

W ramach BW podjęto się oceny wymiany ciepła i masy w urządzeniu klimatyzacyjnym AKV jako podstawy do opracowania ćwiczeń laboratoryjnych związanych z badaniami urządzeń klimatyzacyjnych i ich elementów w warunkach eksploatacyjnych [stany nieustalone]. Obecna praca jest pierwszym etapem zamierzenia.

1.1 Cel pracy

Celem pracy było wyznaczenie możliwości zmian parametrów cieplno-wilgotnościowych powietrza wilgotnego za pomocą urządzenia klimatyzacyjnego AKV, w warunkach Laboratorium Maszynowego P G, pod kątem wykorzystania urządzenia do celów dydaktycznych.

1.2 Zakres pracy

Zakres pracy obejmował :

- analizę dokumentacji techniczno-ruchowej urządzenia AKV wraz z zaprojektowanym wcześniej układem grzewczym do symulacji zmian parametrów powietrza wyciąganego z pomieszczenia;
- uruchomienie stanowiska -sprawdzenie działania układu chłodzenia, grzania za pomocą pompy ciepła i nagrzewnicy zewnętrznej oraz reakcji ekonomizera na nastawy automatyki;
- przeprowadzenie pomiarów ilości i parametrów powietrza obrabianego na potrzeby klimatyzacji oraz powietrza przepływającego przez wymiennik ciepła będący skraplaczem urządzenia chłodniczego lub parownikiem odbierającym ciepło w dolnym źródle, w przypadku pracy pompy ciepła;
- ocenę uzyskanych wyników pomiarów.

2. Urządzenie badane

AKV zawiera kompletną instalację chłodniczą ze skraplaczami chłodzonymi powietrzem, napełnionymi czynnikiem chłodniczym R 22. Dzięki dwóm niezależnym obiegom chłodniczym możliwa jest dwustopniowa regulacja. Urządzenie Clima Vera wyposażone jest w kompletną automatykę sterującą temperaturą powietrza w pomieszczeniu klimatyzowanym, oraz wyposażone jest w szafę zasilającą – sterującą, która umożliwia podłączenie zasilania i natychmiastowe uruchomienie urządzenia. Do ogrzewania stosowana jest pompa ciepła z nagrzewnicą elektryczną, która wykorzystuje energię cieplną z otoczenia. Pompa ciepła posiada zabezpieczenia w postaci termostatu zabezpieczającego przed pracą pompy przy zbyt niskich temperaturach zewnętrznych oraz cykliczne odszranianie wymiennika zewnętrznego. Wentylator główny w AKV jest z napędem bezpośrednim – silnikiem trzy-biegowym. Clima Vera posiada również ekonomizer, czyli system automatycznego sterowania układem chłodniczym i przepustnicami optymalizując pracę – oszczędność energii do 30%.

2.1. Przeznaczenie agregatu klimatyzacyjnego [4]

Przedmiotem badań jest agregat klimatyzacyjny AKV. Jest to kompaktowa centrala (zapewnia pełną obróbkę powietrza w jednej zwartej obudowie). Umożliwia klimatyzację obiektów przy wykorzystaniu powietrza obiegowego[recyrkulacyjnego] z udziałem powietrza świeżego. Są to urządzenia typu rooftop - przeznaczone do montowania na dachach budynków. Agregaty *Clima Vera* doskonale nadają się do klimatyzacji takich obiektów jak supermarkety, hale targowe, stacje benzynowe, salony sprzedaży samochodów, biura czy magazyny. Widok agregatu klimatyzacyjnego AKV pokazano na rysunku 1.



Rys. 1 Agregat klimatyzacyjny AKV z podwójnym układem chłodniczym

2.2 Dane techniczne

- **Oznaczenie agregatu klimatyzacyjnego**

AKV 016 – PC 030 / E - P

gdzie:

AKV – Nazwa wyrobu: A – Agregat, K – Klimatyzacyjny, V – VTS Clima,

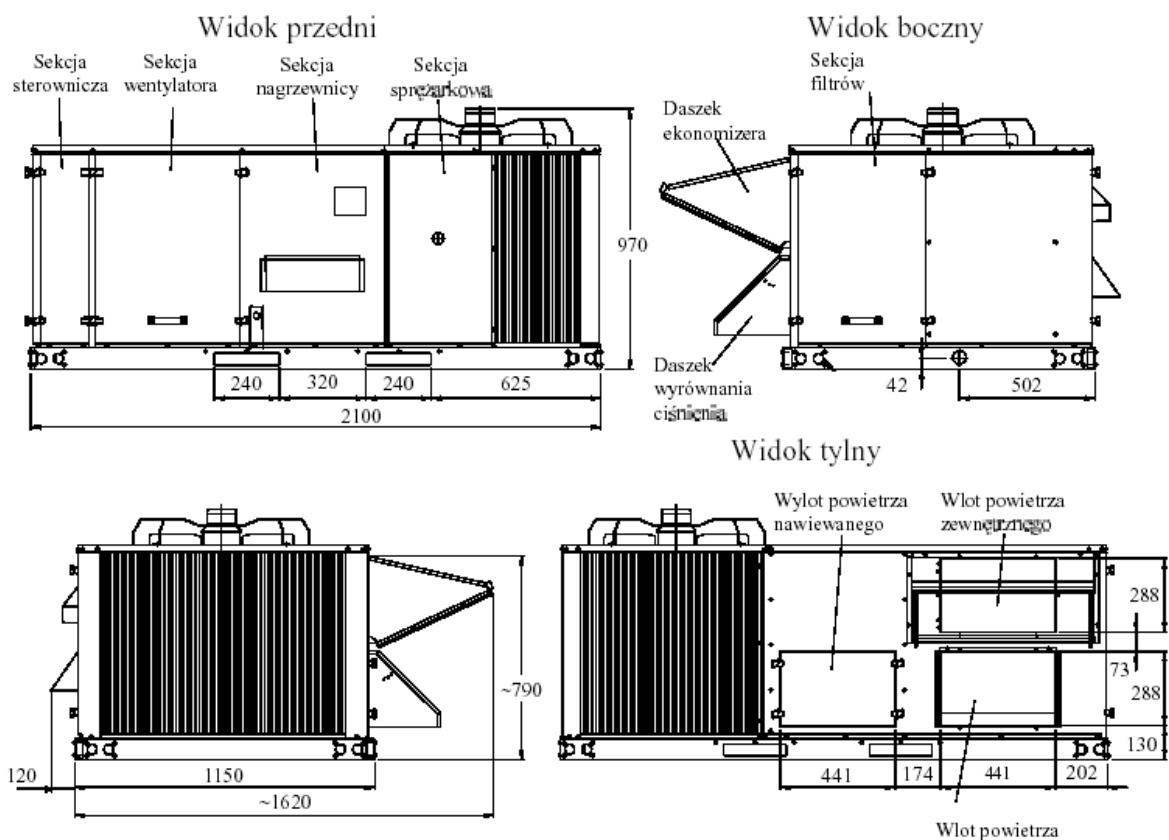
016 – Wielkość (moc chłodnicza) - 17,7 kW,

PC – Wyróżnik wyrobu – nagrzewnica pompą ciepła,

030 – Moc nagrzewnicy – 30 kW,

E-P – Akcesoria, E - ekonomizer, P – podstawa dachowa,

- **Rozmieszczenie poszczególnych sekcji oraz wymiary urządzenia**



- **Charakterystyka techniczna**

Tablica nr 1

Centrala			AKV 016
Wentylator główny	Typ		DD 12/9
	Moc silnika	[kW]	0,73
Chłodnica	Powierzchnia czołowa	[m ²]	0,47
	Ilość	[szt.]	1
Wentylator skraplacza	Średnica wirnika	[mm]	560
	Moc silnika	[kW]	0,20
	Przepływ powietrza	[m ³ /h]	6350
Czynnik chłodniczy	Freon R22	[kg]	4,6

Ograniczenie pracy urządzenia:

Temperatura otoczenia w trybie chłodzenia: od 5°C do 45°C
 Minimalna temperatura otoczenia w trybie pracy pompy ciepła : -10°C
 Minimalna temperatura w pomieszczeniu w trybie chłodzenia : 18°C

- **Charakterystyka nagrzewnic elektrycznych i wydajności grzewczej pompy ciepła**

Tablica nr 2

AKV PC	Napięcie zasilania	Typ nagzew.	Moc nagzewnicy/ Stopnie regulacji	Prąd maks.	Maks. zabezp.	Parametry pompy ciepła przy temp. otoczenia +7°C	
	[V/Hz]		[kW]	[A]	[A]	N [kW]	Q _c
016	400-3/50	027	27/2	28	40	3,4	14,9

gdzie:

Q_c- moc grzewcza pompy ciepła przy temperaturze powietrza w pomieszczeniu 21°C,

N- pobór mocy przez sprężarkę,

2.3 Układ chłodniczy

Centrala AKV 016 jest wyposażona w jeden stopień chłodzenia.

Układ chłodniczy jest kompletnym urządzeniem ze skraplaczem chłodzonym powietrzem, fabrycznie napełniony czynnikiem chłodniczym R 22. W układzie zastosowano sprężarkę hermetyczną, osadzoną na amortyzatorach gumowych. Silnik sprężarki posiada rozruch bezpośredni. Sprężarka ma wewnętrzne zabezpieczenie termiczne - klixon. Jeżeli wystąpi nadmierny wzrost temperatury w uzwojeniach silnika sprężarki, zabezpieczenie to rozewrze swoje styki, przerywając dopływ prądu do silnika. Ponowny start możliwy jest po ostygnięciu zabezpieczenia co może trwać ok. 3 godzin.

- **Zasada pracy układu chłodniczego**

Sprężarka tłoczy gorące pary czynnika chłodniczego do skraplacza. Powietrze zewnętrzne przepływające przez skraplacz, odbierając ciepło od gorących par powoduje ich skroplenie. Przepływ powietrza przez skraplacz wymusza jeden wentylator osiowy.

Dla utrzymania stałego i odpowiednio wysokiego ciśnienia skraplania zastosowano regulację obrotów wentylatora skraplacza w zależności od temperatury skraplania. Wyłączenie wentylatora następuje przy spadku temperatury powietrza otoczenia poniżej +15°C, powtórne załączenie przy wzroście temperatury do +21°C.

Regulacja wydajności skraplacza powinna zapewnić temperaturę skraplania ok. +45°C co odpowiada manometrycznemu ciśnieniu skraplania ok. 1.65 MPa. Ze skraplacza ciekły czynnik płynie przez filtr-odwadniacz, w którym następuje pochłanianie ewentualnej wilgoci. Stopień zawilgocenia wskazuje wskaźnik - wziernik, Zielony kolor indykatora świadczy o suchości czynnika. Odwodniony czynnik przepływa do termostatycznego zaworu rozprężnego, gdzie następuje jego rozprężenie do ciśnienia parowania. Rozprężony czynnik chłodniczy w postaci pary mokrej poprzez rozdzielacz dopływa równomiernie do wszystkich sekcji chłodnicy freonowej, gdzie odparowuje kosztem ciepła odbieranego od powietrza. Pary czynnika chłodniczego są zasysane przez sprężarkę i obieg się zamyka. Przy właściwym wydatku powietrza temperatura odparowania powinna wynosić ok. +7°C (0.52 MPa).

Temperatura (ciśnienie) parowania jest zależne od wielu czynników (wydatek powietrza, temperatura otoczenia, temperatura powietrza wyciąganego z pomieszczenia, ilość powietrza świeżego) i dlatego może się zmieniać w trakcie pracy od 0°C (0.40 MPa) do +10°C (0.59 MPa).

Zamontowany w instalacji presostat maksymalny wyłączy sprężarkę przy wzroście ciśnienia skraplania powyżej wartości 2.45 MPa. Ponowne załączenie możliwe jest po obniżeniu ciśnienia do wartości 2.0 MPa, usunięciu przyczyny wzrostu ciśnienia oraz ręcznym odblokowaniu układu za

pomocą przycisku „ON-OFF” na termostacie T7300. Jest to stan awarii sygnalizowany czerwoną diodą LED 1.

Innym stanem awaryjnym jest zadziałanie presostatu minimalnego w wyniku spadku ciśnienia w instalacji poniżej 0.08 MPa . Ponowny start sprężarki jest możliwy po wzroście ciśnienia do wartości 0.15 MPa oraz po zresetowaniu układu za pomocą przycisku „ON-OFF” na termostacie T7300. Stan ten również jest sygnalizowany czerwoną diodą LED 1.

W celu zabezpieczenia chłodnicy przed zamrożeniem na rurociągu ssawnym zamontowano termostat przeciwwamrozeniowy, który wyłącza sprężarkę gdy temperatura na ssaniu spadnie poniżej +1.5°C. Ponowny start nastąpi gdy temperatura wzrośnie do +7.5°C po zresetowaniu układu analogicznym jak po zadziałaniu presostatów.

- **Zabezpieczenie układu chłodniczego**

Odwilżacz czynnika chłodniczego

Woda w obiegu chłodniczym może powodować duże szkody, szczególnie może wywoływać korozję i ewentualnie zatykanie się zaworów rozprężnych w wyniku tworzenia się lodu, gdy temperatura parowania spadnie poniżej 0 °C.

Środek osuszający umieszczony w cylindrach, zamkniętych po obu stronach sitami, absorbuje wilgoć zawartą w czynniku chłodniczym.

Wzierniki

Są montowane przed zaworem rozprężnym do kontroli stanu przepływającego czynnika, przy czym pęcherzyki widoczne we wzorniku wskazują na niepełne skraplanie czynnika chłodniczego w obiegu. Pęcherzyki w nominalnym punkcie pracy oznaczają ubytek czynnika chłodniczego (należy wykryć nieszczelność, usunąć ją i dopełnić urządzenie czynnikiem chłodniczym), zjawisko dławienia przepływu w przewodzie, np. zatkany odwilżacz (należy go wymienić) lub niedostateczne dochłodzenie cieczy (zabrudzony skraplacz). Wzierniki zawierają barwne wskaźniki, pokazujące czy czynnik chłodniczy jest pozbawiony wody lub czy w obiegu są ślady wody. Zielony kolor indykatora świadczy o suchości czynnika.

Rozdzielacz

Równomierne dostarczanie czynnika chłodniczego pomiędzy rury zapewnia rozdzielacz czynnika, przyłączony za stosowanym termostatycznym zaworem rozprężnym (*wtrysk wielokrotny*). Rozdziela on strumień pary mokrej odpływającej z zaworu rozprężnego (mieszanie pary i cieczy) za pomocą rur miedzianych o małej średnicy równomiernie między rury chłodzące. Rury te, w celu zapewnienia jednakowego oporu przepływu, mają taką samą średnicę i taką samą długość.

Czujki zabezpieczające

Każdy z obiegów chłodniczych {jeżeli występują dwie sprężarki} jest wyposażony w elementy zabezpieczające. Jeżeli jedno z tych zabezpieczeń *zadziała.*, dany układ chłodniczy zostanie wyłączony, drugi natomiast będzie pracował dalej. Powrót urządzenia do normalnej pracy po zadziałaniu n/w zabezpieczeń możliwy jest po stwierdzeniu przyczyny zadziałania oraz ręcznym odblokowaniu (resetowaniu) obwodu sterowania np. poprzez wyłączenie urządzenia przełącznikiem (System) na termostacie i jego powtórny załączeniu.

1. Termostat przeciwwamrozeniowy zamontowany na przewodzie ssawnym zabezpiecza urządzenie przed niską temperaturą parowania (rozłącza swoje styki przy 1,5°C) spowodowaną małym wydatkiem powietrza lub niską temperaturą powietrza wyciąganego, ewentualnie nieprawidłową pracą układu chłodniczego.

2. Presostat wysokiego ciśnienia zabezpiecza przed wysokim ciśnieniem tłoczenia (nad 2,45 MPa), które może być spowodowane zanieczyszczeniem skraplacza lub uszkodzeniem silnika wentylatora skraplacza.

3. Presostat niskiego ciśnienia zabezpiecza urządzenie w przypadku ubytku czynnika chłodniczego - przed niskim ciśnieniem (pod 0,08 MPa).

- **Praca sekwencyjna układu chłodniczego z ekonomizerem**

Jeżeli przełącznik wentylatora (na termostacie T7300) jest w pozycji „ON” spowoduje to ciągłą pracę wentylatora. Jeżeli przełącznik wentylatora nawiewu jest w pozycji 'AUTO', wentylator będzie pracował tylko wtedy, kiedy termostat będzie generował sygnał do grzania.

Kiedy termostat pokojowy daje sygnał do załączenia stopnia chłodzenia załączony zostaje również silnik wentylatora nawiewu (jeżeli przełącznik wentylatora na termostacie ustawiony jest w pozycji „AUTO”) oraz otwiera się przepustnica ekonomizera z całkowicie zamkniętej do jej minimalnej pozycji ustawionej na module logicznym siłownika.

1. Jeżeli entalpia powietrza zewnętrznego jest poniżej punktu nastawy na module logicznym siłownika to przepustnica ekonomizera będzie się otwierać lub zamykać tak, aby utrzymać stałą temperaturę powietrza nawiewanego, kontrolowaną przez czujnik temperatury na nawiewie.
2. Jeżeli entalpia powietrza zewnętrznego jest powyżej punktu nastawy, załączy się obieg chłodniczy.

Gdy temperatura w pomieszczeniu osiągnie wartość nastawioną na termostacie, zostaną rozwarpte styki termostatu i obieg chłodniczy zostanie wyłączony.

Wentylator nawiewu będzie kontynuował swoją pracę, jeżeli przełącznik wentylatora będzie ustawiony w pozycji „ON”.

2.4 Układ pompy ciepła

- **Pompa ciepła z nagrzewnicą elektryczną**

W pompie ciepła zachodzi proces, polegający na pobieraniu ciepła z otoczenia i przekazywaniu go do strumienia powietrza nawiewanego. Pracę pompy ciepła charakteryzuje współczynnik wydajności grzewczej ϵ_p , będący stosunkiem mocy użytecznej Q oddanym w skraplaczu i mocy sprężarki N . Im wyższa wartość tego współczynnika, tym efektywniejsza jest praca pompy ciepła. Wartość współczynnika wydajności grzewczej pompy ciepła zależy od różnicy między temperaturą otoczenia a temperaturą powietrza nawiewanego. Ponieważ temperatura powietrza nawiewanego jest mało zmienna, dlatego im niższa temperatura otoczenia, tym mniejsza moc grzewcza pompy ciepła. W temperaturze poniżej 0°C na powierzchni parownika osadza się szron, który powoduje powstawanie oporu cieplnego, a w skrajnych wypadkach może całkowicie uniemożliwić przepływ powietrza. Aby temu zapobiec w urządzeniu zastosowano cykliczne odszranianie parownika, jednak w niskiej temperaturze (poniżej -5°C) oraz przy dużej wilgotności powietrza pompy ciepła pobierają tak dużo energii, że ich stosowanie staje się nieekonomiczne. Gdy temperatura powietrza zewnętrznego spadnie poniżej -10°C , należy ręcznie przestawić tryb pracy termostatu na grzanie uzupełniające EM HT. W trybie tym wyłączona zostaje pompa ciepła natomiast nagrzewnica elektryczna pracuje na 100 % mocy.

Nagrzewnica elektryczna

Nagrzewnica umieszczona jest w centralnym przedziale centrali w strumieniu powietrza nawiewanego. Grzałki podłączone są w rozdzielnicy elektrycznej i nie wymagają oddzielnego zasilania. Obwody zasilania grzałek zabezpieczone są bezpiecznikami. Dla zapewnienia odpowiedniej żywotności grzałek konieczny jest minimalny przepływ powietrza podczas procesu grzania, który wynosi $Q_{\min}=2700 \text{ [m}^3/\text{h]}$.

- **Tryby ogrzewania**

Jeżeli przełącznik wentylatora jest w pozycji „ON” powoduje to ciągłą pracę wentylatora.

Jeżeli przełącznik wentylatora nawiewu jest w pozycji 'AUTO', wentylator będzie pracował tylko wtedy, kiedy termostat będzie dawał sygnał do grzania.

Pompą ciepła

1. Stopień grzania zostanie zasilony w momencie gdy termostat wyda sygnał do grzania, uruchomiona zostanie sprężarka oraz otworzy się zawór czterodrogowy odwracający obieg chłodniczy. Równocześnie podane zostanie napięcie na dodatkowe wejście regulatora obrotów skraplacza LAĆ i załączenie wentylatora skraplacza na najwyższych obrotach.

2. Termostat będzie cyklicznie włączał i wyłączał układ w zależności od wymagań temperaturowych w klimatyzowanym pomieszczeniu.

Okres przejściowy

Jeżeli ogrzewanie będzie niewystarczające termostat wyda sygnał do załączenia grzania zewnętrznego „AUX HT” i włączy pierwszy stopień nagrzewnicy elektrycznej.

Po osiągnięciu nastawionej temperatury w pierwszej kolejności wyłączona zostanie nagrzewnica elektryczna, a następnie pompa ciepła z zachowaniem nastawionych na termostacie uzależnień czasowych.

Grzanie uzupełniające

Gdy warunki zewnętrzne nie pozwalają na prawidłowe funkcjonowanie pompy ciepła (temperatura powietrza poniżej -10°C), należy ręcznie przestawić tryb pracy termostatu na grzanie awaryjne „EM HT”. W trybie tym wyłączona zostaje pompa ciepła, natomiast włączone zostaną dwa stopnie nagrzewnicy elektrycznej. Po osiągnięciu nastawionej temperatury termostat wyłącza jeden lub dwa stopnie nagrzewnicy.

• **Zabezpieczenie pompy ciepła**

Termostat zabezpieczający

Dla zabezpieczenia urządzenia przed pracą pompy przy zbyt niskich temperaturach zewnętrznych zastosowano termostat, który przy spadku temperatury otoczenia poniżej -10°C przerywa pracę sprężarek, załącza 2-stopień nagrzewnicy elektrycznej oraz *zapala* czerwoną diodę na termostacie pokojowym sygnalizującą potrzebę przełączenia trybu pracy na grzanie uzupełniające - 'EM HT'.

Odszranianie

W temperaturze poniżej 0°C na powierzchni parownika osadza się szron, który powoduje powstawanie oporu cieplnego, a w skrajnych wypadkach może całkowicie uniemożliwić przepływ powietrza. Aby temu zapobiec w urządzeniu zastosowano cykliczne odszranianie wymiennika zewnętrznego.

Cyklem odszraniania steruje moduł elektroniczny, który załącza odszranianie co 30, 45 lub 90 min do wyboru w zależności od warunków klimatycznych w jakich pracuje pompa ciepła.

Wewnętrzny zegar regulatora odszraniania uruchamiany jest gdy temperatura mierzona przez czujkę w bloku lamelowym wymiennika zewnętrznego jest poniżej -2.2°C . Odszranianie przerywane jest po 10 min. lub gdy temperatura mierzona przez czujkę wzrośnie powyżej 12.8°C . Podczas cyklu odszraniania odłączony jest zawór rewersujący obieg chłodniczy oraz regulator obrotów wentylatora skraplacza. Przez ten czas obieg chłodniczy *przełącza* się na konwencjonalne chłodzenie.

Aby zapobiec nawiewaniu do pomieszczenia klimatyzowanego zbyt zimnego powietrza, na czas odszraniania załączony zostaje 1-stopień nagrzewnicy elektrycznej.

Po zakończeniu cyklu odszraniania pompa ciepła podejmuje normalną pracę.

2.5 Automatyka

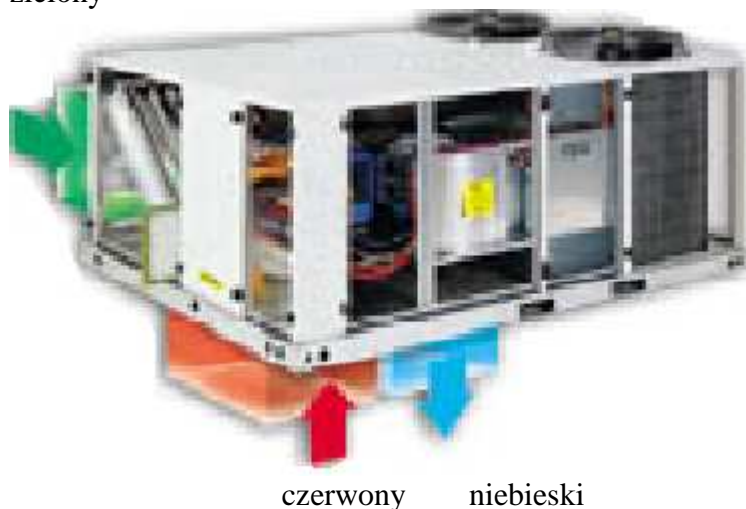
W centrali zastosowany jest termostat programowalny. Termostat posiadający ciekłokrystaliczny wyświetlacz umożliwia zaprogramowanie temperatur dla chłodzenia i ogrzewania indywidualnie dla każdego dnia tygodnia, różnych na okres przebywania osób w pomieszczeniu klimatyzowanym oraz ich nieobecności. Posiada on dwa stopnie chłodzenia oraz dwa stopnie grzania, pracuje jako regulator P lub I. Termostat jest fabrycznie

zaprogramowany i wymaga jedynie ustawienia zegara czasu rzeczywistego. W celu uniemożliwienia wprowadzenia zmian w ustawieniach termostatu przez osoby nieupoważnione możliwe jest unieruchomienie klawiatury. Standardowo termostat współpracuje z jedną, pokojową czujką temperatury.

3 Badania klimatyzatora AKV [1]

Badania cieplno-przepływowe agregatu klimatyzacyjnego będą prowadzone metodą bezpośrednią od strony przepływającego powietrza i pośrednią, jako sprawdzającą. Na rysunku 2 przedstawiono układ przepływów powietrza: strumień powietrza recyrkulacyjnego [czerwony], strumień powietrza zewnętrznego [zielony], strumień powietrza nawiewanego [niebieski]. W przypadku pracy agregatu na powietrzu wewnętrznym [recyrkulacyjnym] w pomieszczeniu należy pomierzyć parametry powietrza na dopływie do klimatyzatora: temperaturę, ciśnienie, wilgotność względną. Pomiar natężeniu przepływu powietrza wykonuje się na wypływie z klimatyzatora oraz na jego dopływie. Wyznacza się ciśnienie oraz rozkłady lokalnych wartości: prędkości, temperatury i wilgotności powietrza. Na ich podstawie wyznacza się wartość objętościowego natężenia przepływu powietrza. W przypadku pracy klimatyzatora z częściową recyrkulacją powietrza należy dokonać pomiarów temperatury i wilgotności względnej powietrza zewnętrznego oraz strumienia objętości powietrza zewnętrznego. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarowych wyznacza się wydajności cieplną i chłodniczą klimatyzatora oraz ilość wykroplonej wilgoci.

zielony



czerwony niebieski

Rys. 2 Układ przepływów powietrza klimatyzowanego - klimatyzator AKV [3]

4 Wyniki badań

Na podstawie uzyskanych wyników ustalono;

- minimalna ilość powietrza przepływająca przez urządzenie [klimatyzator + nagrzewnica symulacyjna] jest zabezpieczone i wynosi ok. 2300m³/h;
- wartości parametrów mierzone za pomocą autonomicznego systemu regulacyjnego klimatyzatora AKV pokrywają się z wartościami uzyskanymi za pomocą pomiarów indywidualnych podczas badań;
- w ramach występujących w Laboratorium Maszynowym parametrów cieplno-wilgotnościowych powietrza możliwa jest ocena pracy urządzenia w następujących trybach:
 - grzanie nagrzewnicą zewnętrzną

- grzanie za pomocą pompy ciepła
- chłodzenie za pomocą powietrza zewnętrznego [praca ekonomizera]
- chłodzenie za pomocą urządzenia chłodniczego
- na przygotowanym stanowisku nie jest możliwe w semestrze zimowym ocena pracy klimatyzatora w trybie osuszania pomieszczenia.

Podsumowanie

Przeprowadzony rozruch układu [klimatyzator AKV + nagrzewnica symulacyjna] oraz przeprowadzone badania dają podstawę do dalszych prac związanych z wykorzystaniem urządzenia do celów naukowo-dydaktycznych.

Literatura

1. Czapp M i inni, Badania laboratoryjne urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych, *2000, Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej.
2. Agregat klimatyzacyjny Clima Vera, materiały firmowe VTS CLIMA ,81-198 Kosakowo 1998.
3. VTS CLIMA –air conditioning- materiały firmowe.
4. Dokumentacja techniczno-ruchowa, Agregat klimatyzacyjny AKV - Clima Vera, wersja 22-03-01, VTS CLIMA.
5. Kąkel M., Kruszewski R., Badania klimatyzatora AKV, Praca przejściowa, prow. M. Jaskólski, Politechnika Gdańska, Wydz. Mech. *2002