ŚRODOWISKO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
ENVIRONMENTAL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
4-Ś/2012
ZESZYT 28
ROK 109
ISSUE 27
YEAR 109

DOROTA SKRZYNIOWSKA, JAROSŁAW MÜLLER,
RENATA SIKORSKA-BĄCZEK*

# KLIMAT POMIESZCZEŃ – KSZTAŁTOWANIE

# CLIMATE OF ROOMS – MANAGEMENT AND PLANNING

Streszczenie

Urządzenia grzewcze oraz klimatyzacyjne instaluje się w pomieszczeniach, w których przebywają ludzie w celu wytworzenia w nich komfortu cieplnego. W tak określonych warunkach człowiek może osiągnąć maksymalne intelektualne i manualne zdolności. Instalacje zapewniające korzystne parametry środowiska wewnętrznego muszą być zaprojektowane zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami, z uwzględnieniem zasad poszanowania energii oraz z zachowaniem niezbędnych środków bezpieczeństwa.

*Słowa kluczowe*: *klimat pomieszczeń*, *komfort cieplny*, *kształtowanie środowiska*

Abstract

Heating and air-conditioning devices create a thermal comfort for users. In such conditions, the worker can achieve maximum intellectual and manual abilities. All installations responsible for ensuring proper indoor environment must be designed according to regulations and standards and also obeying energy saving rules and safety precautions.

*Keywords*: *climate room*, *thermal comfort*

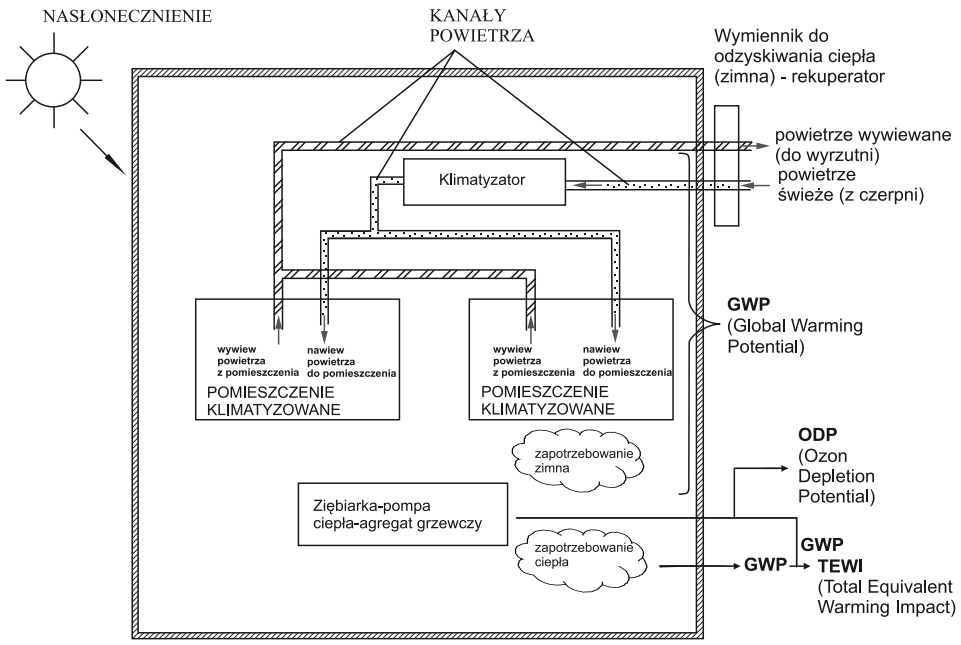
* Dr inż. Dorota Skrzyniowska, dr inż. Jarosław Müller, dr inż. Renata Sikorska-Bączek, Instytut Inżynierii Cieplnej i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Komfort cieplny dla człowieka określa się jako stan zadowolenia z warunków otoczenia, w którym on przebywa. Potrzeba wytworzenia komfortu cieplnego w pomieszczeniach ma dodatkowe uzasadnienie w tym że człowiek osiąga swoje manualne i intelektualne zdolności wówczas gdy znajduje się w warunkach komfortu. Wytworzenie warunków w których człowiek odczuwałby stan komfortu cieplnego stanowi zatem główny cel instalowania urządzeń grzewczych oraz klimatyzacyjnych oraz rzutuje na konstrukcję różnego rodzaju pomieszczeń zamkniętych oraz dobór materiałów na ich budowę.

Prawidłowe określenie wymaganych parametrów klimatu i innych potrzeb cieplnych w budownictwie daje podstawę do wkomponowania odpowiednich instalacji w obiekt budowlany.

Szkic koncepcyjny (rys. 1) prezentuje uzbrojenie budynku w instalacje uczestniczące w kształtowaniu klimatu i w zaspokajaniu innych potrzeb pomieszczeń. Instalacje klimatyzacyjne do zapewnienia korzystnych parametrów cieplnych środowiska wewnętrznego wymagają szczególnej kompetencji i rozwagi w projektowaniu oraz użytkowaniu, z powodu ich znaczącego wpływu na odczucia człowieka, zapotrzebowanie energii i narażenie bezpieczeństwa osób, mienia i środowiska, bezpośrednio lub pośrednio, w następstwie wywołanych globalnych efektów długofalowych (ODP, GWP).

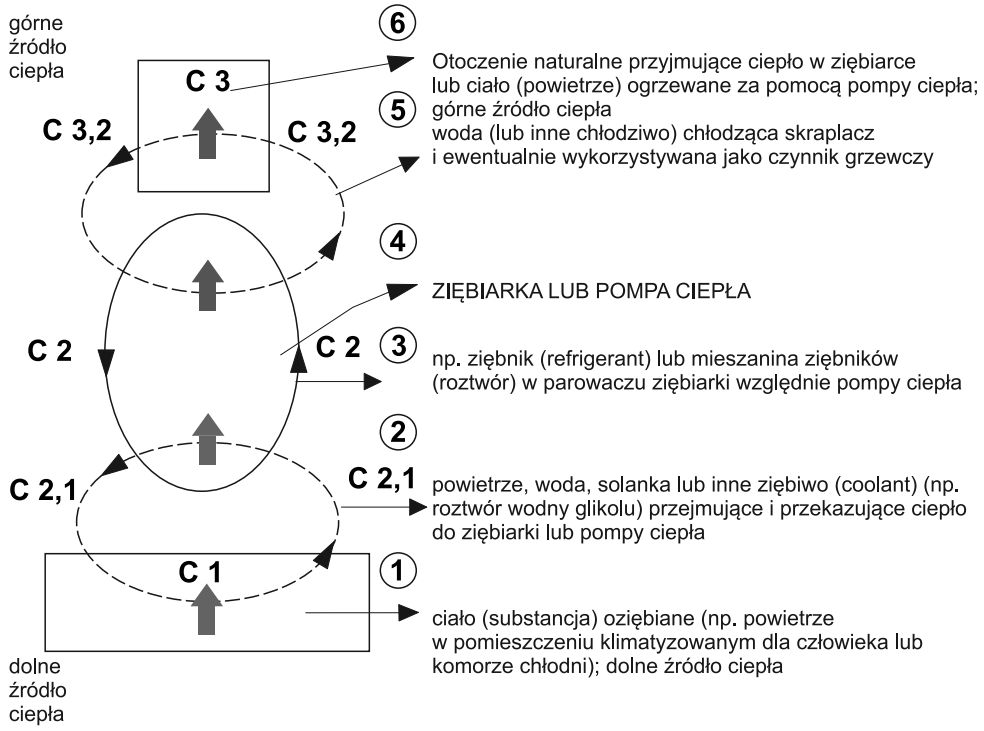



Rys. 1. Schemat ideowy instalacji klimatyzacyjnych obiektu przy uwzględnieniu poszanowania energii

Fig. 1. Schematic diagram of air – conditioning installation including environmental aspects

Duże zagrożenie stanowią instalacje do realizacji lewobieżnych obiegów termodynamicznych pomp ciepła i ziębiarek. Wykorzystują one substancje szkodliwe dla atmosfery, które ponadto mogą zwiększać efekt cieplarniany Ziemi szczególnie w aglomeracjach miejskich z powodu wykorzystywania do napędu energii, głównie elektrycznej.

Obiegi lewobieżne do zmiany temperatury i wilgotności powszechnie wykorzystywane w technice uzdatniania powietrza, wiążą się z techniką osiągania i utrzymywania temperatur obniżanych oraz podwyższanych w stosunku do temperatury początkowej ciał obserwowanych lub do ich otoczenia, co opisują odpowiednie procesy (rys. 2).




Rys. 2. Zespół środków uczestniczących w procesach lewobieżnych ziębiarek i pomp ciepła [1]

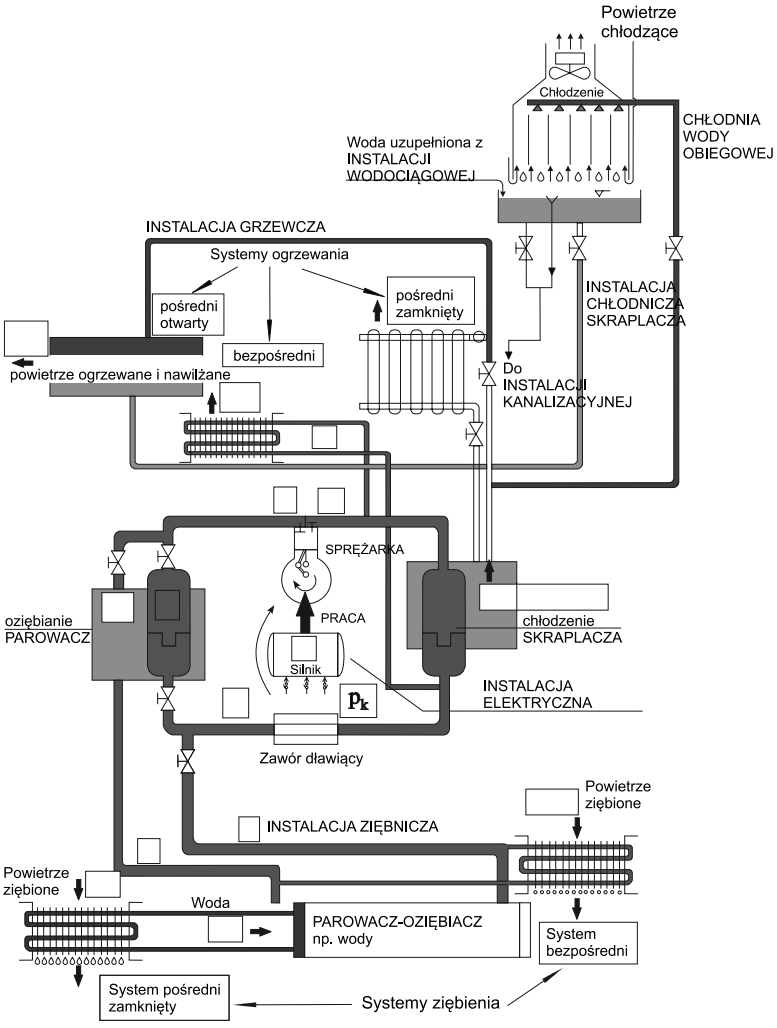
Fig. 2. Set of media in left-driven processes of refrigeration machinery and heat pumps [1]

Jeśli np. w procesie obniżania lub utrzymywania obniżonej w stosunku do otoczenia, temperatury jakiegoś ciała (np. powietrza) **uczestniczą tylko substancje otoczenia naturalnego**, np. płyny C3 (woda lub powietrze otoczenia naturalnego), to mamy do czynienia z **chłodzeniem naturalnym** (lub krótko: **chłodzeniem**).

Jeśli natomiast w procesie przejmowania ciepła od ciała, np. obniżania lub utrzymywania jego temperatury **uczestniczą substancje o temperaturze obniżonej,** w stosunku do temperatury otoczenia naturalnego, **w sposób sztuczny, np. przez realizację lewobieżnego obiegu termodynamicznego**, to mamy do czynienia z **chłodzeniem sztucznym** (lub krótko: **ziębieniem**). Procesom i instalacjom do ziębienia towarzyszą równocześnie instalacje do

chłodzenia (instalacje chłodnicze z wodą lub powietrzem chłodzącym skraplacz), a w pompach ciepła również do ogrzewania (grzewcze).

Współczesny budynek w celu utrzymania właściwego mikroklimatu oraz odpowiedniego komfortu wyposażony jest w wiele różnych instalacji technicznych. Należą do nich instalacje: elektryczna, grzewcza, kanalizacyjna, wentylacyjna (klimatyzacyjna), wodociągowa, chłodnicza względnie ziębnicza. Schemat ideowy budynku wraz z wymienionymi instalacjami przedstawiono na rys. 3.




Rys. 3. Schemat ideowy podstawowych instalacji ziębniczych, chłodniczych i grzewczych w obiektach komunalnych

Fig. 3. Schematic diagram of basic refrigerating, cooling and heating installations in public buildings

## 2. Praktyczne zastosowanie, zagrożenia i formułowane wymagania bezpieczeństwa

W celu uwzględnienia zagrożeń ludzi i mienia, wprowadza się w regulacjach międzynarodowych tzw. warunki bezpieczeństwa. Określa je zespół przepisów, zakazów oraz ostrzeżeń przed niewłaściwym postępowaniem z instalacjami, wypełnionymi ziębnikami, charakteryzującymi się właściwościami, które stwarzają zagrożenie dla zdrowia i mienia. Wszystkie czynniki ziębnicze (ziębniki – refrigerants) zakwalifikowano w międzynarodowych opracowaniach normalizacyjnych EN 378 [2], do grup klasyfikacyjnych (L1, L2, L3) uwzględniających toksyczność (w tym także wypieranie tlenu) oraz palność (w tym także wybuchowość).

Dla powyższych grup sformułowane są odpowiednie ograniczenia stosowalności uzależnione od kategorii pomieszczeń (tab. 1), w których rozmieszczone są instalacje systemów ziębienia lub ogrzewania. Wybrany przykład (tab. 2) przedstawia, w jakich warunkach kojarzenie takich systemów i kategorii pomieszczeń jest dopuszczalne. Jak widać, istotną rolę w skojarzeniach odgrywa napełnienie instalacji ziębnikiem. Dopuszczalne napełnienie zależy więc od kategorii pomieszczenia, od systemu ziębienia (grzania) i grupy klasyfikacyjnej do której zaliczany jest ziębnik. Jeżeli warunek* (tab. 2) nie jest spełniony, należy zastosować zamiast instalacji (rys. 4a) inne rozwiązanie projektowe jakim jest np. system pośredni zamknięty (rys. 4b) mniej korzystny energetycznie, ale odpowiadający wymaganiom bezpieczeństwa.

Tabela 1

**Kategorie pomieszczeń [2]**

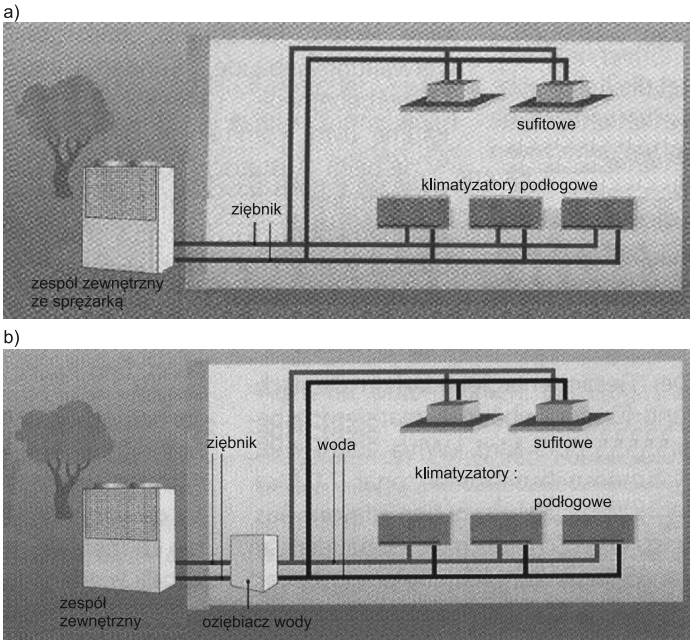
| Kategoria | Charakterystyka ogólna | Przykłady |
|---|---|---|
| A | Pomieszczenia, części budynków, budynki, w których:<br>– ludzie mogą spać;<br>– ludzie mają ograniczone możliwości poruszania się;<br>– istnieje możliwość obecności niekontrolowanej liczby osób lub dostępu każdej osoby, również nie zapoznanej z wymaganiami w zakresie bezpieczeństwa. | Szpitale, gmachy sądowe lub więzienia, teatry, supermarkety, szkoły, sale wykładowe, dworce pasażerskie, hotele, budowle mieszkalne, restauracje. |
| B | Pomieszczenia, części budynków, budynki, w których może się gromadzić tylko ograniczona liczba osób, przy czym niektóre są obowiązkowo zapoznane z ogólnymi warunkami dotyczącymi bezpieczeństwa zakładu. | Biura i urzędy, laboratoria, miejsca ogólnego wykonywania produkcji i miejsca wykonywania pracy. |
| C | Pomieszczenia, części budynków, budynki, do których mają dostęp tylko osoby uprawnione, zapoznane z ogólnymi i szczególnymi warunkami bezpieczeństwa zakładu oraz miejsc produkcji, przetwarzania lub składowania materiałów i wyrobów. | Obiekty i urządzenia do produkcji, np. chemikaliów, żywności, napojów, lodu, lodów, rafinerie, chłodnie, mleczarnie, rzeźnie, pomieszczenia supermarketów wyłączone z publicznego dostępu. |

Napełnienie masą ziębnika z grupy L1 w instalacji systemu bezpośredniego (rys. 4a) lub równoważnego mu pośredniego typu otwartego, ulokowanego wewnątrz pomieszczenia kategorii A, nie może przekroczyć wartości dopuszczalnej (obliczeniowej) granicy stężenia do osiągnięcia w razie nieszczelności. Jeżeli ten warunek nie może być spełniony, należy zastosować inne rozwiązania projektowe. Jednym z nich jest odpowiedni system pośredni zamknięty (rys. 4b) kosztowniejszy, mniej korzystny energetycznie, ale odpowiadający wymaganiom bezpieczeństwa. Szkice rysunkowe (rys. 4) wyjaśniają różnice pomiędzy systemami. W systemie pośrednim występuje dodatkowy wymiennik ciepła oziębiacz wody (*water chiller*) zwiększający koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.

Tabela 2

**Fragment wymagań przy wyposażeniu pomieszczeń w określony system [2]**

<table>
<tr><th colspan="7">Pomieszczenia kategorii A</th></tr>
<tr><th>Grupa czynnika ziębniczego</th><th colspan="2">L1</th><th colspan="2">L2</th><th colspan="2">L3</th></tr>
<tr><td>System ziębienia lub ogrzewania. Usytuowanie instalacji ziębniczych</td><td rowspan="2">Bezpośredni lub pośredni otwarty</td><td rowspan="2">Inne pośrednie</td><td rowspan="2">Bezpośredni, pośredni otwarty, pośredni otwarty wentylowany</td><td rowspan="2">Inne pośrednie zamknięte</td><td rowspan="2">Bezpośredni, pośredni otwarty, pośredni otwarty wentylowany</td><td rowspan="2">Inne pośrednie zamknięte</td></tr>
<tr><td>Nie<br>w wydzielonej maszynowni</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Jeśli swoboda poruszania się ludzi jest ograniczona, to należy unikać otwartego płomienia lub podobnych gorących powierzchni w pomieszczeniach bez odpowiedniej stałej wentylacji</td><td>Nie do klimatyzacji, jeśli swoboda poruszania się ludzi jest ograniczona</td><td></td><td>Nie do klimatyzacji komfortowej</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Napełnienie czynnikiem nie przekracza wartości równej iloczynowi praktycznej granicy stężenia PL wg załącznika E [19] i objętości V najmniejszego z pomieszczeń zajmowanych przez ludzi, w których jest usytuowane wyposażenie zawierające czynnik ziębniczy PL (kg/m$^3$) × V (m$^3$)*</td><td colspan="2">Tylko instalacje hermetyczne<br>Instalacje sorpcyjne o napełnieniu do 2,5 kg<br>Inne instalacje o napełnieniu obliczonym na podstawie praktycznej granicy stężenia</td><td colspan="2">Tylko instalacje hermetyczne<br>o napełnieniu obliczanym na podstawie praktycznej granicy stężenia, lecz nie większym niż 1,5 kg</td></tr>
</table>




Rys. 4. Skojarzenie instalacji klimatyzacyjnej (ziębniczo-grzewczej) odpowiednio do wymagań dla pomieszczenia kategorii A z ziębnikiem L1 a) system bezpośredni b) system pośredni
Fig. 4. Connection of air-conditioning installation adequate with category A requirements with L1 refrigerant a) direct system, b) indirect system

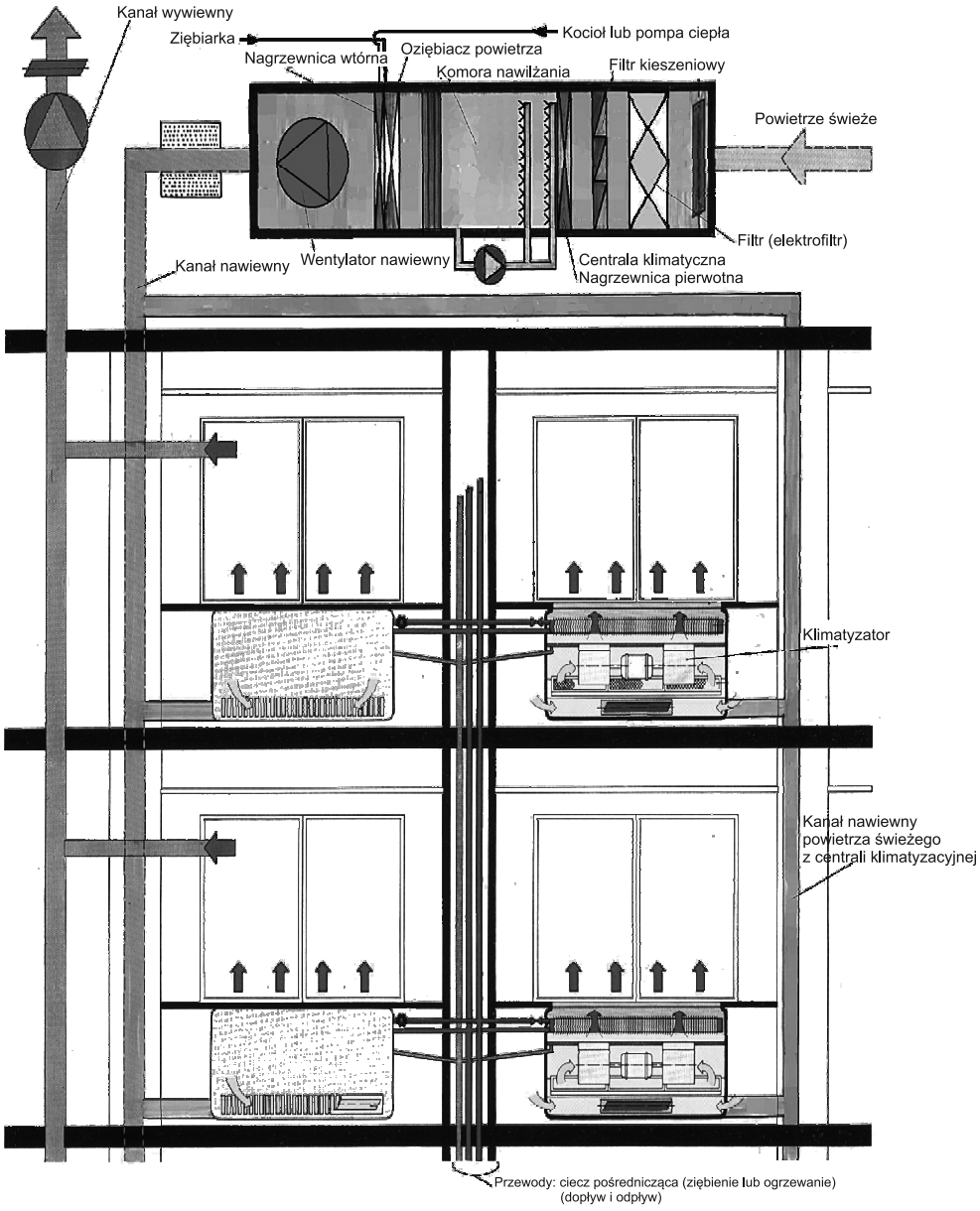
W wykonaniu praktycznym z klimatyzatorami wentylatorowymi (podłogowymi – podokiennymi) system zaopatrzenia w powietrze uzdatniane-klimatyzacyjnie może być zrealizowany np. następująco (rys. 5).

## 3. Wykres Molliera (*h–x*) powietrza wilgotnego

Do rozwiązywania zagadnień projektowych stosuje się wygodne narzędzie pozwalające na szybkie i łatwe rozwiązywanie konkretnych zagadnień oraz przejrzyste ilustrowanie rozpatrywanych procesów uzdatniania powietrza, jakim jest wykres *h–x*, (czasem zwany *i–x*) dla powietrza wilgotnego sporządzony przez Richarda Molliera (1923 r.).

Jest to wykres w układzie dwóch współrzędnych entalpia właściwa – zawartość wilgoci h-x (wykres Molliera), który powstał na postawie odpowiednich zależności termodynamicznych (*h* – entalpia właściwa, *x* – zawartość wilgoci).

Podstawą sporządzania wykresu *h–x* Mollier'a są wzory do obliczenia entalpii właściwej powietrza wilgotnego zamieszczony poniżej. Przy założeniu własności gazu doskonałego powietrza suchego i pary wodnej dla $p = p_{atm}$ = const dwa parametry stanu ($t$, $x$) wystarczą do termodynamicznego (kalorycznego) określania stanu powietrza na płaszczyźnie wykresu *h–x*.

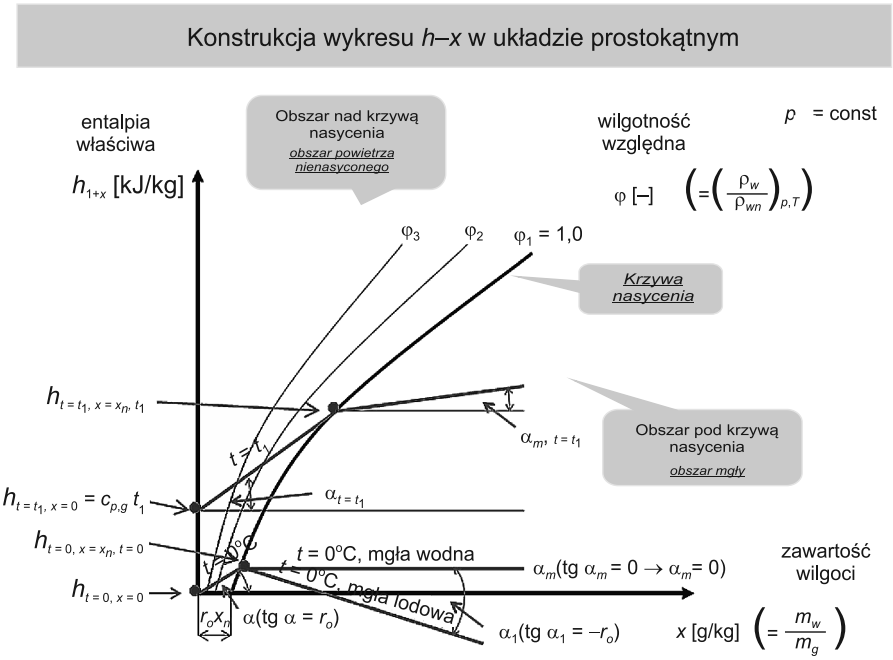



Rys. 5. Instalacja klimatyzacyjna z klimatyzatorami wentylatorowymi podłogowymi – podokiennymi

Fig. 5. Air-conditioning installation with floor fan-coils

Prowadzenie przemian pod stałym ciśnieniem, najczęściej atmosferycznym jest bardzo często stosowane. Dlatego przemiany takie, zwane izobarycznymi, są bardzo przydatne praktycznie.

Analiza i obliczenia procesów uzdatniania powietrza dla celów klimatyzacji wymagają znajomości charakterystycznych właściwości powietrza wilgotnego. Pomijając przypadki szczególne, procesy uzdatniania klimatyzacyjnego są w przybliżeniu procesami izobarycznymi przy ciśnieniu równym ciśnieniu barometrycznemu $p_b$ (ok. 1 [atm] ≈ 0,1 [MPa]). Wykres Molliera jest słuszny dla ciśnienia stałego i zachowuje swoje praktyczną wartość, jeżeli ciśnienie to zmienia się w granicach ±3%.




Rys. 6. Wykres powietrza wilgotnego w układzie rozwartokątnym osi *h–x*

Fig. 6. Humid air diagram in obtuse angle axes *h–x*

Równania entalpii właściwej formułowane dla obszarów: 1) powietrza nienasyconego wilgocią oraz 2) powietrza z mgłą wodną i 3) powietrza z mgłą lodową, przedstawiają się następująco:

1. $h_{(1+x),\phi\le 1,0} = c_{p,g}\cdot t + (c_{p,w}\cdot t + r_0)\cdot x$
2. $h_{(1+x),\text{ mgła wodna}} = c_{p,g}\cdot t + (c_{p,w}\cdot t + r_0)\cdot x_n + c_m\cdot t\,(x - x_n)$
3. $h_{(1+x),\text{ mgła lodowa}} = c_{p,g}\cdot t + (c_{p,w}\cdot t + r_0)\cdot x_n - (r_l - c_l\cdot t)(x - x_n)$

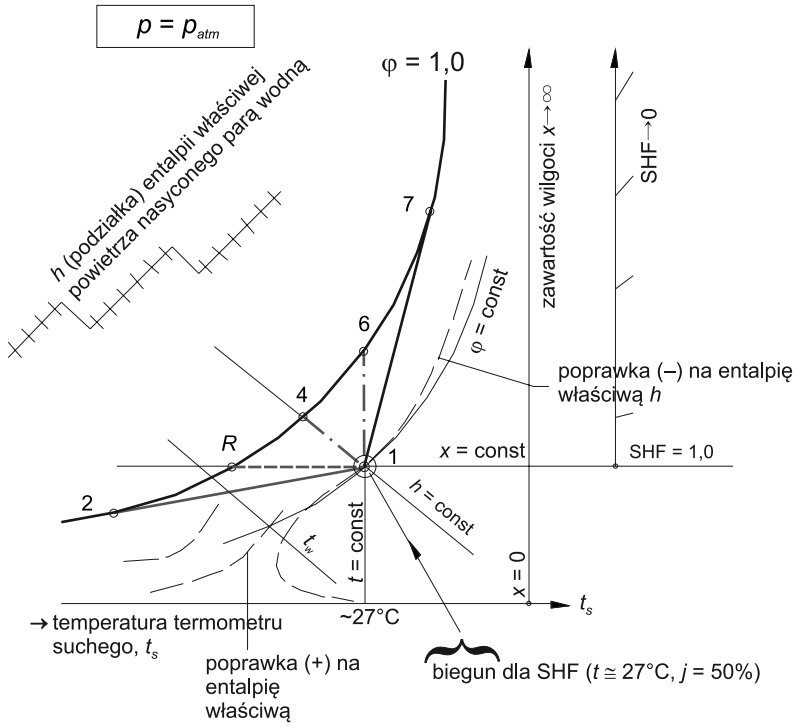
Na takim wykresie w układzie osi współrzędnych rozwartokątnym *h–x* można dokonywać analizy procesów zachodzących podczas uzdatniania powietrza

gdzie:

$c_{p,g}\Big|_0^t$ – średnia właściwa pojemność cieplna przy $p$ = const, (średnie ciepło właściwe) powietrza suchego przy stałym ciśnieniu odczytywana z tablic dla: 0 [°C] oraz $t$ [°C] i obliczone, jako wartość średnia arytmetyczna,

$c_{p,w}\Big|_0^t$ – średnia właściwa pojemność cieplna (średnie ciepło właściwe) pary wodnej przy $p$ = const w granicach temperatur od 0 [°C] do $t$ [°C],

$r_0$ – ciepło utajone odparowania wody w temperaturze 0 [°C],[kJ/kg]




Rys. 7. Uproszczony wykres Carrier'a powietrza wilgotnego

Fig. 7. Carrier's chart

W literaturze głównie angloamerykańskiej dość rozpowszechniony jest wykres w układzie współrzędnych: temperatura – zawartość wilgoci.

1. Entalpia właściwa określana jest dla powietrza wilgotnego nasyconego $h = h_{1+x_n}$.
2. Zamiast ε jest wskaźnik kierunkowy SHF (Sensible Heat Factor), gdzie:

$$\mathrm{SHF} = \frac{\Phi_j}{\Phi_c} \quad [-]$$

dla $x$ = const $\Phi c = \Phi j$, SHF = 1,0.

3. Wykres Carrier'a różni się od wykresu Molliera tym, że wskaźnik kierunkowy określa się stosunkiem strumienia ciepła jawnego do strumienia ciepła całkowitego. Oznacza to, że gdy ciepło jawne $\Phi_j = 0$ to SHF = 0, gdy w strumieniu powietrza nie ma zmiany wilgoci to $\Phi_c = \Phi j$ i SHF = 1,0. Zatem podziałka wskaźnika kierunkowego zmienia się od wartości 1,0 do 0. Każda prosta równoległa do $x$ = const ma SHF = 1,0. Każda prosta równoległa do temperatury $t_s$, suchego termometru ma SHF = 0.
4. Entalpia właściwa powietrza jest liczona i naniesiona na wykres według wartości dla powietrza nasyconego parą wodną, a więc dla $x = x_n$. Ponieważ więc linie stałej entalpii naniesione na wykres w obszarze nienasyconym dotyczą wartości $h_{1+x_n}$, trzeba wprowadzać poprawki dla powietrza uwzględniające różnice w zawartości wilgoci według tablic podanych przez Carriera.

## Literatura

[1] Maczek K., Schnotale J., Skrzyniowska D., Sikorska-Bączek R., *Uzdatnianie powietrza w Inżynierii Środowiska dla celów wentylacji i klimatyzacji*, Politechnika Krakowska, podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych, Kraków 2010, wydanie poprawione i uzupełnione,

[2] EN 378-1 Instalacje ziębnicze i pompy ciepła, Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska, cz. 1. Wymagania podstawowe, definicje, klasyfikacja i kryteria wyboru.