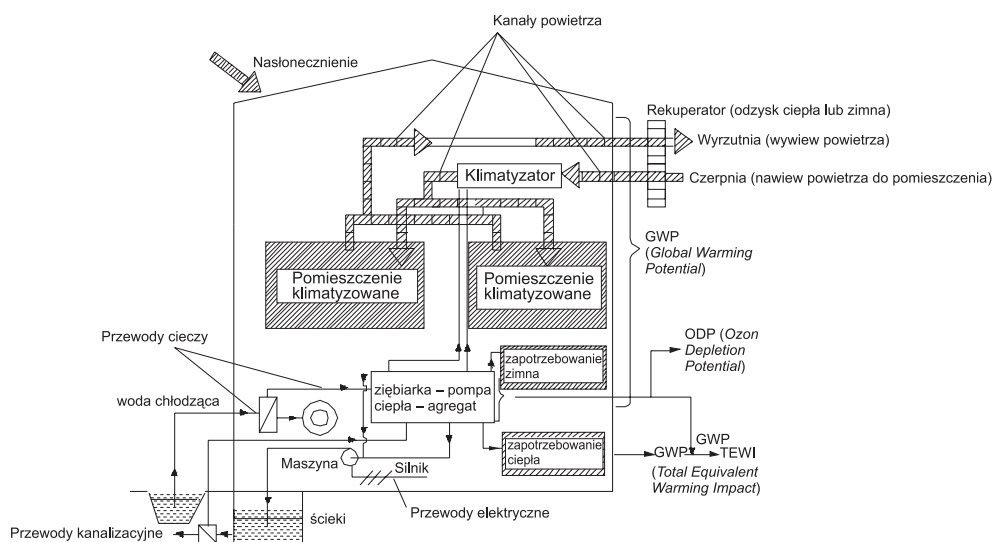


1. WSTĘP

1.1. KSZTAŁTOWANIE KLIMATU POMIESZCZEŃ

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

Szkic koncepcyjny (rys. 1.1) 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 rozważań w projektowaniu oraz użytkowaniu, z powodu ich znaczącego wpływu na odczucia człowieka, zapotrzebowanie energii i narażenie bezpieczeństwa osób. Pojęcia, wyposażenie instalacji w odpowiednie elementy i ich funkcje opisane są w szczegółowych rozdziałach (Spis treści).

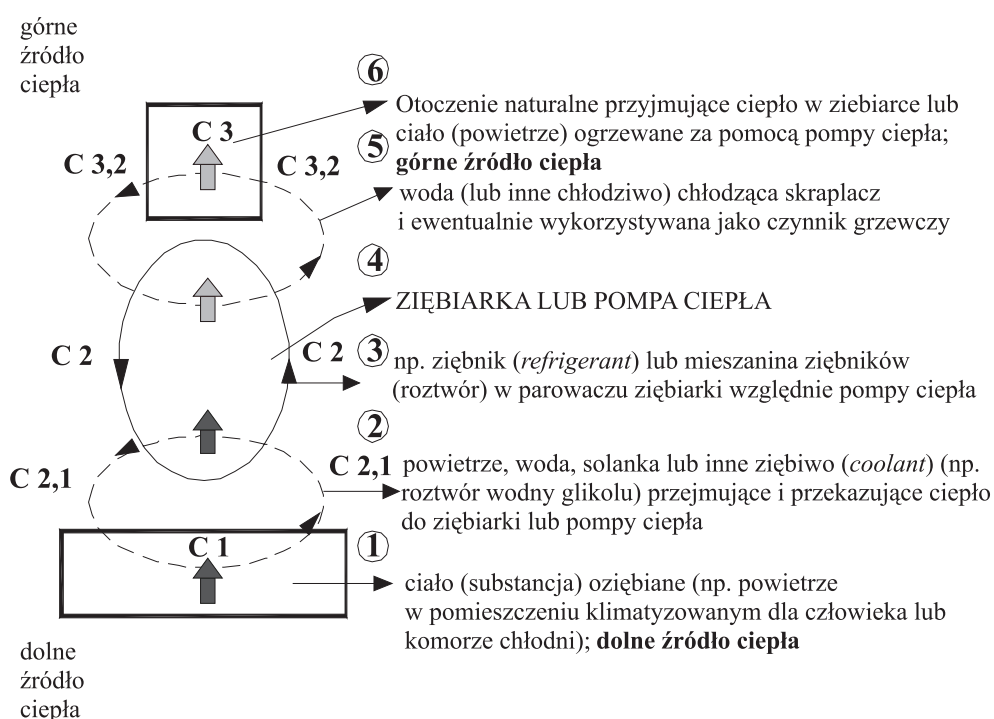


Rys. 1.1. Schemat ideowy instalacji klimatyzacyjnych obiektu z uwzględnieniem poszanowania energii [3]

Znaczący wkład w zagrożenia wnoszą instalacje do realizacji lewobieżnych obiegów termodynamicznych pomp ciepła i ziębiarek. Wewnątrz nich występują bo-

wiem substancje szkodliwe dla atmosfery, ponadto wzrasta 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. 1.2).



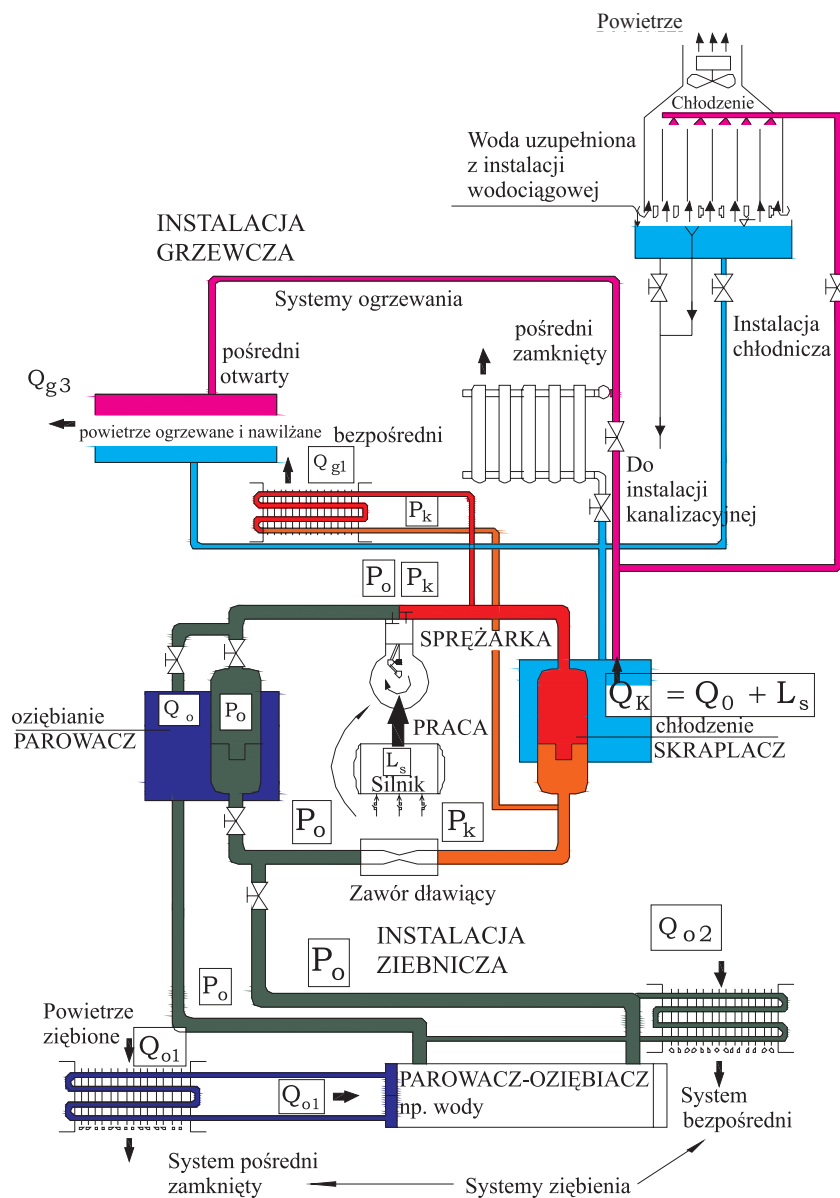
Rys. 1.2. Zespół środków uczestniczących w procesach lewobieżnych ziębiarek i pomp ciepła [8]

Jeśli np. w procesie obniżania lub utrzymywania obniżonej temperatury jakiegoś ciała (np. powietrza) w stosunku do otoczenia **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 chłodni-

cze 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.

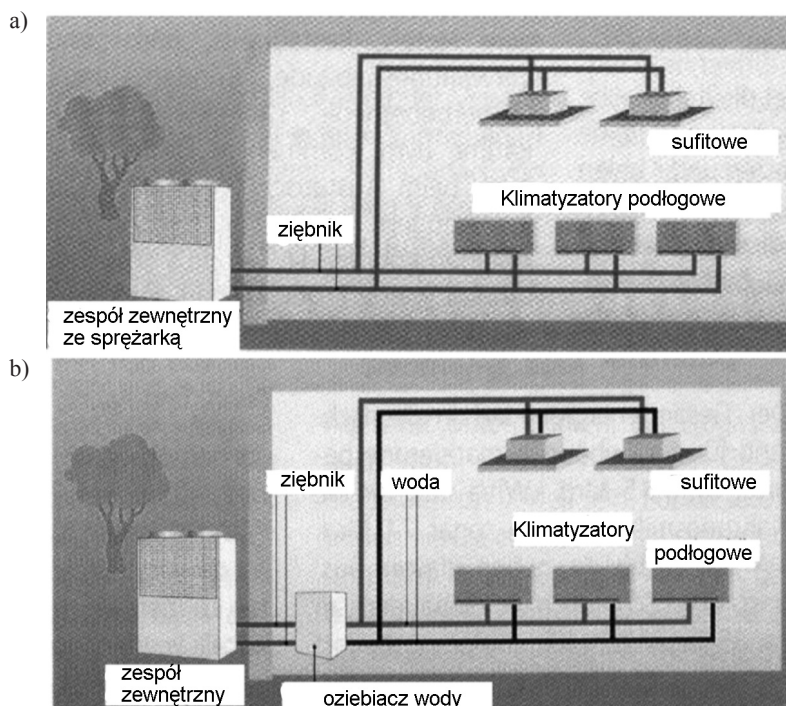


Rys. 1.3. Schemat ideowy podstawowych instalacji ziębicznych, chłodniczych i grzewczych w obiektach komunalnych

Należą do nich instalacje: elektryczna, grzewcza, kanalizacyjna, wentylacyjna (klimatyzacyjna), wodociągowa, chłodnicza – względnie ziębnicza. Schemat ideowy budynku wraz z wymienionymi instalacjami przedstawiono na rys. 1.3.

1.2. ZASTOSOWANIA PRAKTYCZNE I FORMUŁOWANE WYMAGANIA BEZPIECZEŃSTWA

Warunki bezpieczeństwa określa zespół przepisów, zakazów oraz ostrzeżeń przed niewłaściwym postępowaniem z instalacjami, wypełnionymi ziębnikami (C2), charakteryzującymi się właściwościami, które stwarzają zagrożenie dla zdrowia i mienia. Sformułowano je na podstawie badań przeprowadzonych w renomowanych i uznawanych laboratoriach naukowych. Na tej podstawie wszystkie czynniki ziębnicze (ziębniki – *refrigerants*) zakwalifikowano w międzynarodowych opracowaniach normalizacyjnych EN 378 i w normie ISO 5149 do trzech grup klasyfikacyjnych o wzrastającej skali zagrożenia (L1, L2, L3) uwzględniających toksyczność (w tym także wypieranie tlenu) oraz palność (w tym także wybuchowość).

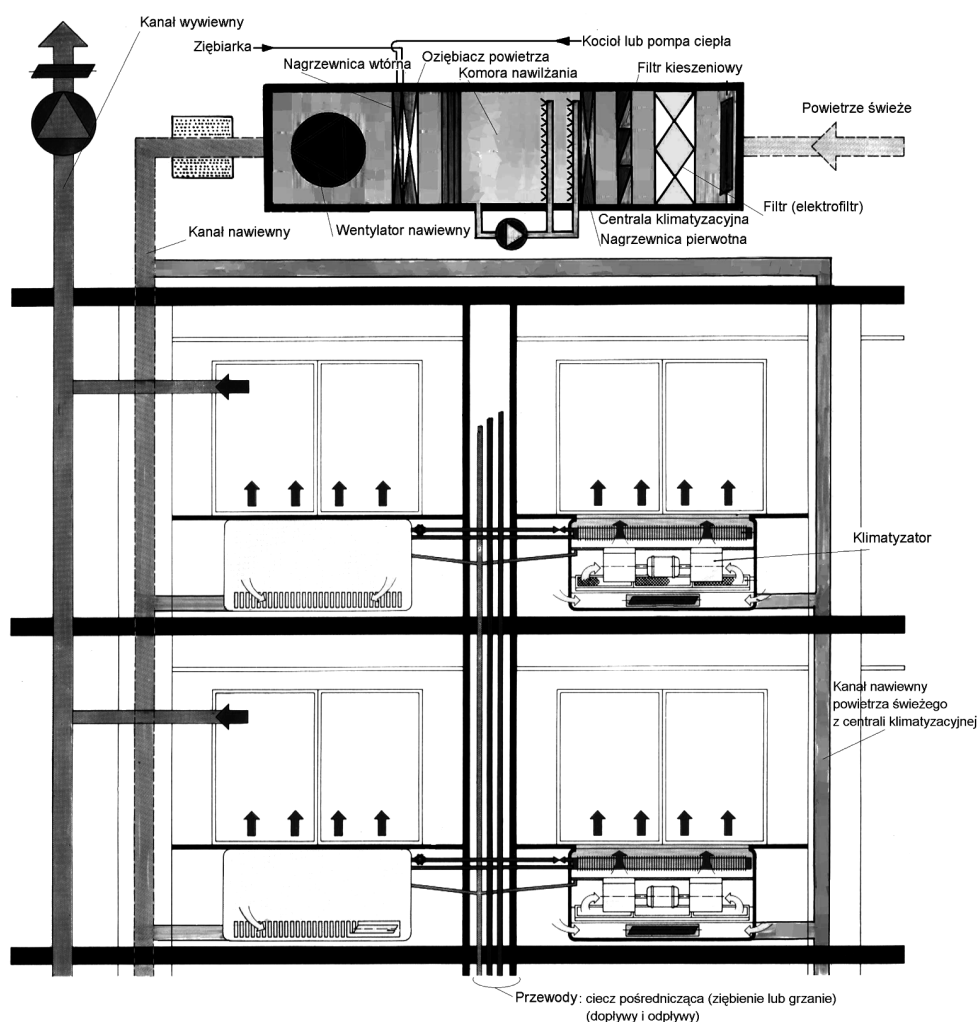


Rys. 1.4. Skojarzenie instalacji klimatyzacyjnej (ziębniczo-grzewczej) odpowiednio do wymagań dla pomieszczenia kategorii A z ziębnikiem L1:

a) system bezpośredni, b) system pośredni

Dla powyższych grup źębników sformułowane zostały obowiązujące ograniczenia stosowności uzależnione od kategorii pomieszczeń A, B, C, w których rozmieszcza się instalacje systemów ziębnienia lub ogrzewania.

Napełnienie masą ziębnika z grupy L1 w instalacji systemu bezpośredniego (rys. 1.4a) lub równoważnego mu pośredniego typu otwartego, ulokowanego wewnątrz pomieszczenia kategorii A, nie może przekroczyć wartości dopuszczalnej (obliczeniowej) do osiągnięcia granicy stężenia w razie nieszczelności. Jeżeli ten warunek nie może być spełniony, należy zastosować inne rozwiązania projektowe. Jednym z nich jest odpowiedni system pośredni zamknięty (rys. 1.4b) – kosztow-



Rys. 1.5. Instalacja klimatyzacyjna z klimatyzatorami wentylatorowymi podłogowymi – podokiennymi

niejszy, mniej korzystny energetycznie, ale odpowiadający wymaganiom bezpieczeństwa. Szkice rysunkowe (rys. 1.4) wyjaśniają różnice pomiędzy systemami. W systemie pośrednim występuje dodatkowy wymiennik ciepła – oziębiacz wody (*water chiller*) zwiększający koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.

W wykonaniu praktycznym system zaopatrzenia w powietrze uzdatniane klimatyzacyjnie z klimatyzatorami wentylatorowymi (podłogowymi – podokiennymi) może być zrealizowany tak jak to przedstawiono na rys. 1.5.

1.3. WYKRES h - x POWIETRZA WILGOTNEGO

Narzędziem pomocniczym do rozwiązywania zagadnień występujących w praktyce klimatyzacyjnej, a w szczególności do obliczania bilansów procesów służą wykresy wilgotnego powietrza. W Europie przyjętą się powszechnie wykres w układzie dwóch współrzędnych entalpia właściwa–zawartość wilgoci h - x (wykres Molliera), który powstał na podstawie odpowiednich zależności termodynamicznych (h – entalpia właściwa, x – zawartość wilgoci, patrz rozdz. 4).

Podstawą sporządzania wykresu h - x Molliera są wzory do obliczenia entalpii właściwej powietrza wilgotnego zamieszczone poniżej. Przy założeniu własności gazu doskonałego powietrza suchego i pary wodnej dla $p = p_{\text{atm}} = \text{const}$ dwa parametry stanu (t, x) wystarczą do termodynamicznego (kalorycznego) określania stanu powietrza na płaszczyźnie wykresu 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)
$$h_{(1+x), \phi \leq 1, 0} = c_{p,g} \cdot t + (c_{p,w} \cdot t + r_0) \cdot x$$
- 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)
$$h_{(1+x), \text{mgła lodowa}} = c_{p,g} \cdot t + (c_{p,w} \cdot t + r_0) \cdot x_n - (r_l - c_l \cdot t) (x - x_n)$$

gdzie:

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

przy $t = 0$ [°C]
$$c_{p,g,t=0[\text{°C}]} \cong 1,0036 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right],$$

- $c_{p,w} \Big|_0^t$ – właściwa pojemność cieplna (średnie ciepło właściwe) pary wodnej przy $p = \text{const}$ w granicach temperatur od 0 [°C] do t [°C],
- r_0 – ciepło utajone odparowania wody w temperaturze 0 [°C], [kJ/kg].

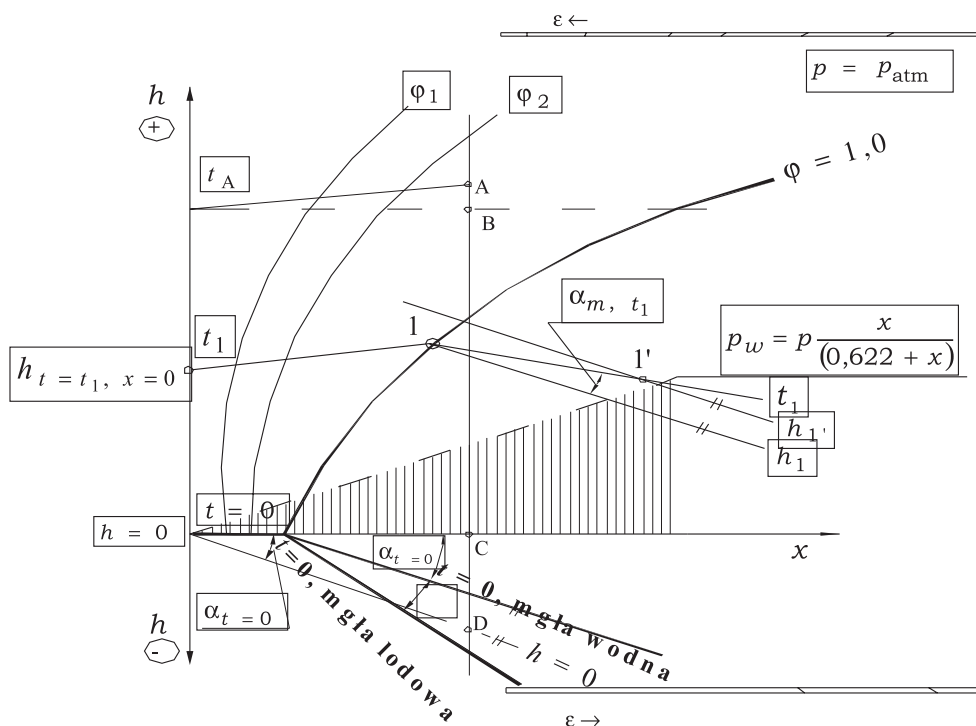
przy $t = 0$ [°C] $c_{p,w} \cong 1,8259 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right]$

$$r_0 = r_{t=0[\text{°C}]} \cong 2500 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

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

Odcinki na wykresie reprezentują podstawowe składniki równania entalpii powietrza wilgotnego nienasyconego o stanie A.

- A – B – $c_{p,w} \cdot t \cdot x_c$ – dodatek entalpii właściwej przegrzania pary wodnej,
 B – C – $c_{p,g} \cdot t$ – entalpia właściwa powietrza suchego o temperaturze t_A ,
 C – D – $r_0 \cdot x_c$ – dodatek entalpii właściwej z odparowania wody ($t = 0^\circ\text{C}$).



Rys. 1.6. Wykres powietrza wilgotnego w układzie rozwartokątnym osi h - x

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

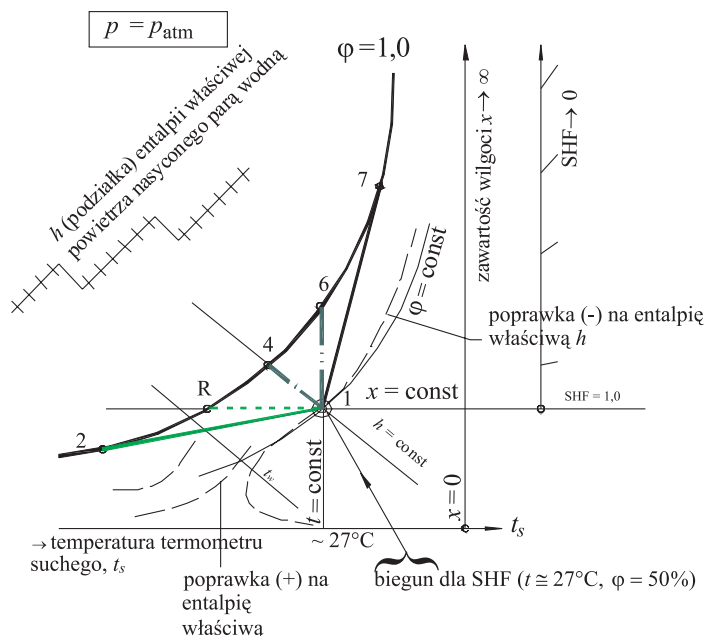
1. Entalpia właściwa określana jest dla powietrza wilgotnego nasyconego $h = h_{1+x_n}$.
2. Zamiast ε jest wskaźnik kierunkowy SHF (*Sensible Heat Factor*),

gdzie:

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

dla $x = \text{const}$ $\Phi_c = \Phi_j$, $\text{SHF} = 1,0$.

3. Wykres Carriera 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 $\text{SHF} = 0$, gdy w strumieniu powietrza nie ma zmiany wilgoci, to $\Phi_c = \Phi_j$ i $\text{SHF} = 1,0$. Zatem podziałka wskaźnika kierunkowego zmienia się od wartości 1,0 do 0. Każda prosta równoległa do $x = \text{const}$ ma $\text{SHF} = 1,0$. Każda prosta równoległa do temperatury t_s suchego termometru ma $\text{SHF} = 0$.
4. Entalpia właściwa powietrza jest liczona i naniesiona na wykres według wartości dla powietrza nasyconego parą wodną, a więc dla $x = x_n$. Ponieważ 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.



Rys. 1.7. Uproszczony wykres Carriera powietrza wilgotnego