

Vyacheslav PISAREV<sup>1</sup>  
Krzysztof NOWAK<sup>2</sup>

## ANALIZA WSPÓŁPRACY KURTYNY POWIETRZNEJ Z GRUNTOWĄ POMPĄ CIEPŁA W OKRESIE CAŁOROCZNYM

Kurtyna powietrzna to urządzenie, którego podstawowym celem jest stworzenie bariery izolującej przepływ powietrza pomiędzy pomieszczeniami lub strefami o różnych temperaturach. W dużych pomieszczeniach, takich jak: hale przemysłowe, warsztaty, magazyny, sklepy wielkopowierzchniowe czy centra handlowe, drzwi pozostają otwarte przez dłuższy czas. Jest to związane np. z koniecznością załadunku i rozładunku towarów na zapleczu magazynu lub z przechodzeniem klientów centrum handlowego. Otwarte drzwi, często dużych rozmiarów, powodują znaczne straty ciepła i zakłócają klimat panujący wewnątrz pomieszczeń. W przypadku gdy istnieje duża różnica temperatury między powietrzem wewnętrznym i zewnętrznym, mogą występować problemy związane z przeciągami oraz z utrzymywaniem właściwej temperatury w pomieszczeniach. Kurtyna tworzy osłonę wentylacyjną, która przy otwarciu drzwi utrzymuje powietrze wewnątrz pomieszczenia. W okresie zimowym nawiewany strumień ciepłego powietrza zapobiega przedostawaniu się powietrza chłodnego do pomieszczenia, ograniczając tym samym straty ciepła, a co za tym idzie – straty energii. Latem stanowi idealną barierę przed gorącym powietrzem napływającym z zewnątrz pomieszczenia. Kurtyna powietrzna utrudnia również przedostawanie się do wnętrza kurzu, spalin i owadów, natomiast dla ludzi jest niewidoczna i nie stanowi przeszkody. W artykule przedstawiono analizę współpracy kurtyny powietrznej i gruntowej pompy ciepła w okresie całorocznym z porównaniem metod obliczeniowych opublikowanych w literaturze. Analizę przeprowadzono dla przykładowego budynku użyteczności publicznej (centrum handlowego) w okresie całorocznym. Otrzymane wyniki będą pomocne w doborze kurtyn powietrznych podczas wyboru i oceny jednej z metod obliczeniowych opublikowanych w literaturze.

**Słowa kluczowe:** kurtyna powietrzna, pompa ciepła, wentylacja, straty ciepła

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Vyacheslav Pisarev, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651946, e-mail: pisarev@prz.edu.pl

<sup>2</sup> Krzysztof Nowak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651263, e-mail: krzynow@prz.edu.pl

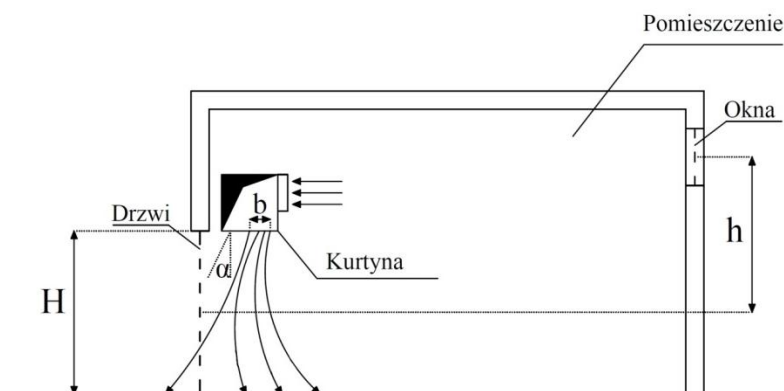
## 1. Kurtyna powietrzna

Przy każdym otwarciu drzwi na zewnątrz wydostaje się powietrze wewnętrzne, do środka przedostaje się zaś powietrze z zewnątrz. Przepływ powietrza jest wywołany przez siły termiczne, brak równowagi w systemie wentylacyjnym lub ciśnienie wiatru. Straty ciepła z powietrzem są szczególnie duże w przypadku znacznej różnicy między temperaturą zewnętrzną a wewnętrzną. Dotyczy to zarówno pomieszczeń ogrzewanych, jak i klimatyzowanych.

Kurtyna powietrzna tworzy osłonę wentylacyjną, która przy otwarciu drzwi utrzymuje powietrze wewnątrz pomieszczenia. Pozwala to na znaczne zmniejszenie kosztów energii i zapewnia komfort cieplny. Kurtyna utrudnia również przedostawanie się do wnętrza kurzu, spalin i owadów. Dla ludzi jest ona niewidoczna i nie stanowi przeszkody [1].

Powietrze zasysane do kurtyny jest tłoczone z dużą prędkością, co powoduje „ekran” w płaszczyźnie otworu, zabezpieczając tym samym otwór przed stratami ciepła/zimna z pomieszczenia (rys. 1.). Sposób zawieszenia kurtyn pozwala na ukierunkowanie strumienia powietrza stosownie do warunków panujących w danym otworze.

Celem opracowania jest wstępna analiza współpracy kurtyny powietrznej i gruntowej pompy ciepła dla przykładowego budynku użyteczności publicznej (centrum handlowego) w okresie całorocznym.



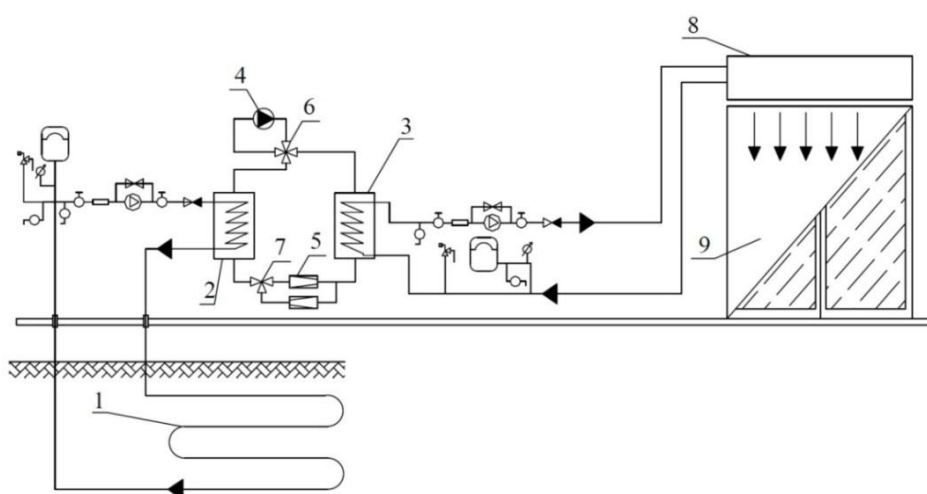
Rys. 1. Schemat kurtyny powietrznej z kierunkiem strumienia powietrza od góry do dołu

Fig. 1. Schema the air curtain to the direction of air flow up and down

Na rysunku 1. przyjęto następujące oznaczenia:  $b$  – szerokość szczeliny wypływu powietrza z kurtyny,  $h$  – różnica wysokości środka drzwi wejściowych i okien,  $\alpha$  – kąt wypływu strumienia powietrza,  $H$  – wysokość drzwi.

## 2. Dane wstępne

W przykładowym budynku parterowym centrum handlowego zastosowano kurtynę powietrzną o przepływie strumienia powietrza od góry do dołu (rys. 1.). Kurtyna będzie umieszczona nad drzwiami wejściowymi do budynku i zasilana w ciepło lub chłód za pomocą pompy ciepła (rys. 2., 3.). Na schemacie (rys. 3.) został wykorzystany zasobnik ciepłej wody dla racjonalnej regulacji pracy pompy ciepła. Drzwi wejściowe o szerokości 1,75 m i wysokość 2,5 m są automatycznie otwierane.



Rys. 2. Schemat instalacji zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej z użyciem pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym ciepła

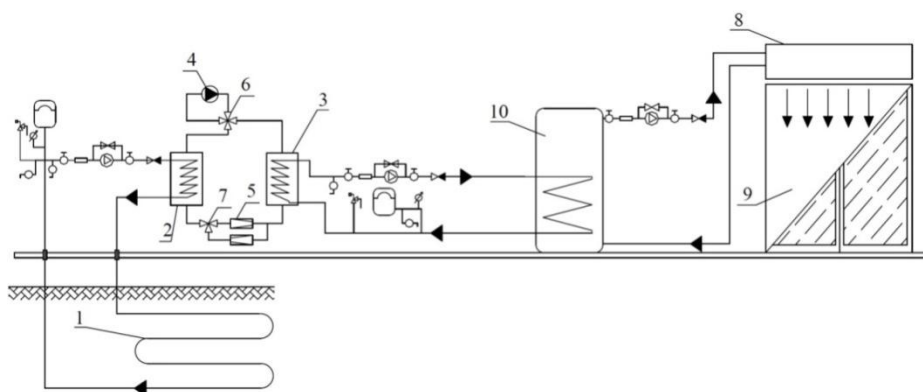
Fig. 2. Schema the air curtain system with a heat pump with a ground heat

Elementami składowymi instalacji przedstawionej na rys. 2. są: 1 – grunto-  
wy wymiennik ciepła, 2 – parownik, 3 – skraplacz, 4 – sprężarka, 5 – zawór roz-  
prężny, 6 – zawór czwódrogowy, 7 – zawór trójdrogowy, 8 – kurtyna powietrz-  
na, 9 – drzwi wejściowe.

Kurtyna powietrzna pracuje przy otwartych drzwiach. Aby zmniejszyć stra-  
ty ciepła, przed drzwiami wejściowymi wybudowano przedsionek [2]. Ciepło  
w zimie oraz chłód w lecie będzie produkowane przez gruntową pompę ciepła.

Obliczenia sporządzono według metody przedstawionej w publikacji [2].  
Otrzymane wyniki w okresie zimowym porównano do wyników obliczeń w pu-  
blikacji [3] opracowanej według metody obliczeniowej [4]. Według metody [2]  
obliczenia zostały sporządzone dla drzwi o takich samych wymiarach, jak we-  
dług przyjętej metody [4], z tą różnicą, że zgodnie z założeniami w źródle [4]  
drzwi będą dobierane dla ok. 100 ludzi przechodzących w ciągu godziny. W lite-

raturze [2] brak jednak informacji na temat charakterystyki drzwi oraz ilości osób przez nie przechodzących. Dane wstępne do obliczeń zestawiono w tab. 1. i 2.



Rys. 3. Schemat instalacji zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej z użyciem pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym ciepła oraz zasobnikiem ciepłej wody

Fig. 3. Schema the air curtain system with a heat pump with a ground heat and hot water cylinder

Elementami składowymi instalacji przedstawionej na rys. 3. są: 1 – grunto-  
wy wymiennik ciepła, 2 – parownik, 3 – skraplacz, 4 – sprężarka, 5 – zawór roz-  
prężny, 6 – zawór czwórdrogowy, 7 – zawór trójdrogowy, 8 – kurtyna powietrz-  
na, 9 – drzwi wejściowe, 10 – zasobnik ciepłej wody.

Tabela 1. Dane wstępne

Table 1. Preliminary data

Dane wstępne	Założenia do metody obliczeniowej [2]	Dane z publikacji [3]
Współczynnik przepływu dla rodzaju drzwi $\mu_0$	0,64 (drzwi o ostrych krawędziach) [2]	0,55 (drzwi dwuskrzydłowe) [3]
Różnica wysokości środka drzwi wejściowych i okien $h$	6,25 m	6,25 m
Kąt wypływu strumienia powietrza $\alpha$	(30÷60°) [2] przy założeniu 60°	nie uwzględniono
Względny wydatek powietrza $q$	(0,5÷1,0) [2] przy założeniu 0,8	nie uwzględniono
Względna szerokość szczeliny $A_{szcz}/A_B$	(1/10÷1/40) [2] przy założeniu 1/30	nie uwzględniono
Współczynnik dla drzwi z jednostronną zasłoną powietrzną $\mu$	0,164 [2]	nie uwzględniono

Tabela 1 (cd.)

Table 1 (contd)

Dane wstępne	Założenia do metody obliczeniowej [2]	Dane z publikacji [3]
Powierzchnia nieszczelności nawiewanych $(\mu A)_n$	0,15 m <sup>2</sup> [2]	nie uwzględniono
Powierzchnia nieszczelności wywiewanych $(\mu A)_w$	0,15 m <sup>2</sup> [2]	nie uwzględniono
Powierzchnia drzwi $(A)_B$	4,4 m <sup>2</sup>	4,4 m <sup>2</sup>
Wysokość drzwi $H$	2,5 m	2,5 m
Szerokość drzwi $B$	1,75 m	1,75 m
Współczynnik dla liczby ludzi przechodzących przez drzwi $k$	nie uwzględniono	0,02 [3]

Tabela 2. Parametry powietrza dla okresów zimowego i letniego

Table 2. Air parameters for the winter and summer

	Okres zimowy	Okres letni
Temperatura/gęstość powietrza zewnętrznego $t_z / \rho_z$ [5]	-20°C/1,395 kg/m <sup>3</sup>	30°C/1,165 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura/gęstość powietrza w pomieszczeniu $t_p / \rho_p$ (założono dla metody [2] i publikacji [3])	15°C/1,226 kg/m <sup>3</sup>	23°C/1,197 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura/gęstość mieszaniny powietrza przenikającego do pomieszczenia $t_m / \rho_m$ (założono dla metody [2], w publikacji [3] nie uwzględniono)	15°C/1,226 kg/m <sup>3</sup>	23°C/1,197 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura/gęstość powietrza wywiewanego z pomieszczenia $t_w / \rho_w$ (założono dla metody [2], w publikacji [3] nie uwzględniono)	17°C/1,215 kg/m <sup>3</sup>	27°C/1,175 kg/m <sup>3</sup>

### 3. Obliczenia dla okresu zimowego

Szerokość szczeliny  $b$  (rys. 1.) oblicza się ze wzoru [2]:

$$\frac{A_{szcz}}{A_B} = \frac{b}{H} \quad (1)$$

stąd

$$b = \frac{1}{30} \cdot 2,5 \text{ m} = 0,083 \text{ m.}$$

Położenie płaszczyzny wyrównania ciśnień określono ze wzoru [2]:

$$h_{wc} = \frac{h}{\frac{\mu \cdot A_B \cdot \rho_m}{(\mu A)_w \cdot \rho_z} \cdot 1 - q + \frac{(\mu A)_n^2}{(\mu A)_w} \cdot \frac{\rho_z}{\rho_w} + 1} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

$$h_{wc} = \frac{6,25 \text{ m}}{\frac{0,164 \cdot 4,4 \text{ m}^2 \cdot 1,226 \text{ kg/m}^3}{0,15 \text{ m}^2 \cdot 1,395 \text{ kg/m}^3} \cdot 1 - 0,8 + \frac{0,15 \text{ m}^2}{0,15 \text{ m}^2} \cdot \frac{1,395 \text{ kg/m}^3}{1,215 \text{ kg/m}^3} + 1},$$

$$h_{wc} = 1,28 \text{ m.}$$

Strumień powietrza zewnętrznego przenikającego do pomieszczenia oblicza się ze wzoru [2]:

$$m_{pn} = A_B \cdot \mu \cdot 2 \cdot g \cdot h_{wc} \cdot \rho_m \cdot \rho_z - \rho_p \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (3)$$

$$m_{pn} = 4,4 \text{ m}^2 \cdot 0,164 \cdot 2 \cdot \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} \cdot 1,28 \text{ m} \cdot 1,226 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,395 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,226 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3},$$

$$m_{pn} = 1,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 5887 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Strumień powietrza nawiewanego przez kurtynę określono ze wzoru [2]:

$$m_n = q \cdot m_{pn} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (4)$$

$$m_n = 0,8 \cdot 1,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 4710 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Strumień powietrza nawiewanego przez kurtynę w pracy [3] określono za pomocą metody [4]:

$$m'_n = 0,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1296 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Różnica strumieni powietrza nawiewanego określona metodami [2] i [4] może wynikać z założeń dla drzwi wejściowych – w metodzie [4] są otwierane dla 100 ludzi przechodzących w ciągu godziny, natomiast metoda [2] nie uwzględnia tego. Różnica ta może także wynikać z innych założeń przedstawionych w tab. 1.

Temperatura powietrza nawiewanego przez kurtynę określono ze wzoru [2]:

$$t_n = \frac{t_m - [1 - (1 - a) \cdot q] \cdot t_z}{q \cdot (1 - a)} \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

$$t_n = \frac{17^{\circ}\text{C} - [1 - (1 - 0,03) \cdot 0,8] \cdot (-20^{\circ}\text{C})}{0,8 \cdot (1 - 0,03)} = 25,1^{\circ}\text{C}.$$

Założono temperaturę strumienia powietrza nawiewanego przez kurtynę w publikacji [3]:

$$t'_n = 50^{\circ}\text{C}.$$

Moc nagrzewnicy obliczono ze wzoru [2]:

$$Q_n = m_n \cdot c_p \cdot t_n - t_p \quad [\text{kW}] \quad (6)$$

$$Q_n = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 25,1 - 15^{\circ}\text{C} = 13,28 \text{ kW}.$$

Moc nagrzewnicy obliczona w literaturze [3] wynosi:

$$Q'_n = 10,71 \text{ kW}.$$

Różne wielkości mocy nagrzewnicy obliczone metodami [2] i [4] wynikają z założeń wstępnych (tab. 1.), które z kolei mają wpływ na obliczenia strumienia nawiewanego przez kurtynę oraz temperatury powietrza nawiewanego. Różnica w mocy nagrzewnicy wynosi ok. 19,3%, co powoduje możliwość nieprawidłowego wymiarowania i utrudnia właściwy dobór kurtyny powietrznej.

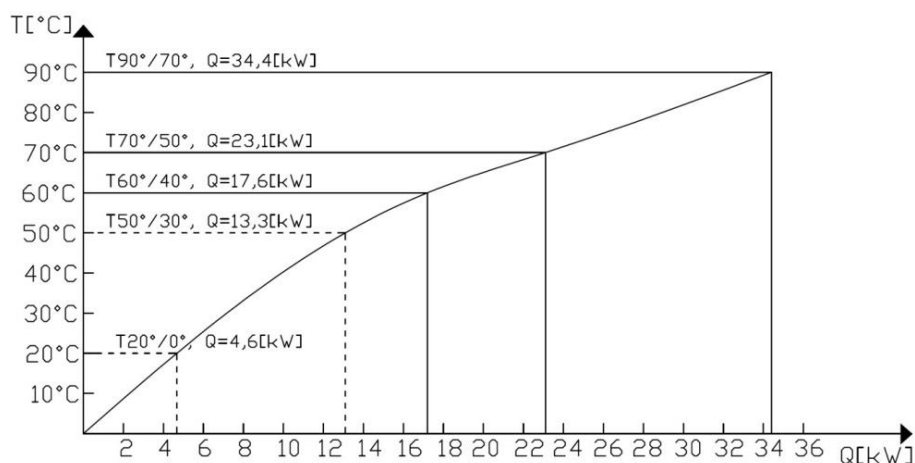
#### 4. Dobór kurtyny powietrznej

Metoda przedstawiona w publikacji [2] nie precyzuje sposobu doboru wskaźników obliczeniowych, takich jak: kąt wypływu strumienia powietrza, względny wydatek powietrza, względna szerokość szczeliny. Natomiast producenci kurtyn powietrznych nie wymagają i nie umieszczają takich informacji w katalogach technicznych. Wykonując obliczenia według metody [4], projektant nie potrzebuje tych informacji.

W pracy [3] na podstawie analizy parametrów pracy nagrzewnicy dobrano kurtynę Frico WAC-302 o parametrach  $T_1/T_2 = 50/30^{\circ}\text{C}$ , gdzie:  $T_1$  – temperatura nośnika ciepła na wejściu nagrzewnicy kurtyny,  $T_2$  – temperatura nośnika ciepła na wyjściu nagrzewnicy kurtyny, wydajność  $Q = 13,6 \text{ kW}$ , maksymalny wydatek powietrza –  $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Na podstawie mocy nagrzewnicy obliczonej ze wzoru (6) w pracy dobrano najbardziej odpowiednią kurtynę powietrzną firmy Sonniger GuardPro200 [6]. W doborze uwzględniono dane techniczne katalogu [6] oraz ich interpretację (rys. 4.). Otrzymano parametry techniczne  $T_1/T_2 = 50/30^{\circ}\text{C}$ , wydajność  $Q = 13,3 \text{ kW}$ , maksymalny wydatek powietrza –  $8600 \text{ m}^3/\text{h}$ , długość kurtyny 2 m [6]. Moc kurtyny może być sterowana poprzez zmianę temperatur na wejściu nośnika ciepła do kurtyny, a także poprzez regulację przepływu strumienia czynnika

grzejnego lub chłodniczego w kurtynie. Regulacja przepływu czynnika roboczego odbywa się za pomocą pompy obiegowej zainstalowanej pomiędzy kurtyną a zasobnikiem ciepłej wody, natomiast regulacja temperatur poprzez zmianę parametrów pracy pompy ciepła lub w inny sposób.



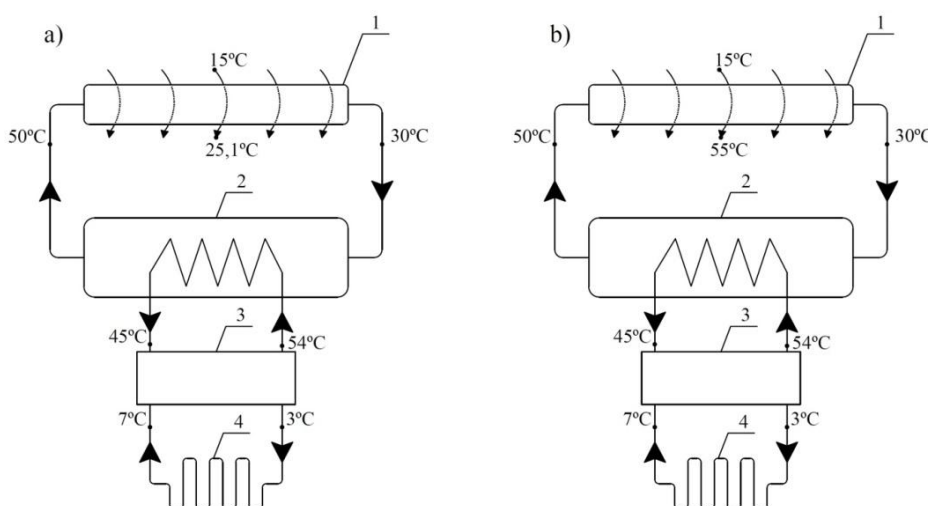
Rys. 4. Wykres charakterystyk technologicznych kurtyny powietrznej wykonany orientacyjnie, na podstawie danych Sonniger [6]

Fig. 4. Technological characteristics graph of the air curtain, based on Sonniger [6]

Podczas doboru kurtyn powietrznych według danych obliczeniowych w obu przypadkach nie odpowiada im zarówno obliczeniowa moc nagrzewnicy, jak również wielkość strumienia powietrza nawiewanego przez kurtynę. Przy zmianie ilości powietrza wentylacyjnego do wartości obliczeniowych zmienia się intensywność wymiany ciepła między czynnikiem roboczym w nagrzewnicy i strumieniem powietrza, w wyniku czego zmienia się moc cieplna. Będzie niemożliwe otrzymanie obliczeniowej temperatury strumienia powietrza. Stąd wynika, po pierwsze, kurtyna powietrzna dobrana z katalogu nie zawsze może być tak dobrana, aby możliwe było idealne jej dopasowanie do warunków obliczeniowych. Po drugie, kurtyna powietrzna powinna być dopasowana do parametrów pracy pompy ciepła dla efektywnej pracy obu urządzeń. Po trzecie, metody obliczeniowe mają charakter empiryczny dostosowany do odpowiedniej konstrukcji wejścia, co utrudnia dokładne zaprojektowanie kurtyny. Wskutek wykorzystania różnych metod można otrzymać różne wyniki.

Rozkład temperatur w instalacji pompy ciepła dla okresu zimowego (rys. 5.) został obliczony na podstawie publikacji [7] oraz danych technologicznych pracy kurtyny zamieszczonych w katalogach producentów. Zasobnik ciepła powinien być tak dobrany, aby można było uzyskać odpowiednie parametry pracy instalacji. Na rysunkach 2. i 3. przedstawiono dwa warianty konstrukcji instalacji.

cji. Lepszym rozwiązaniem jest wariant zamieszczony na rys. 3. – zasobnik ciepłej wody ma za zadanie: magazynować nadwyżki ciepła lub chłodu produkowanego przez pompę ciepła w ilości przekraczającej chwilowe zapotrzebowanie; magazynować ciepło lub chłód, tak aby możliwe było jego wykorzystanie, gdy pompa ciepła nie pracuje; umożliwić pracę pompy ciepła w optymalnym zakresie; umożliwić podłączenie w jednej instalacji innych źródeł ciepła [8]. W rozpatrywanym przykładzie (rys. 5.) wykorzystanie zasobnika ciepłej wody (2) spełni swoje zadanie, jeśli urządzenie zostanie dokładnie zaprojektowane w sposób umożliwiający uzyskanie różnic temperatur około  $10^{\circ}\text{C}$  po stronie pompy ciepła oraz około  $20^{\circ}\text{C}$  po stronie odbiorcy.



Rys. 5. Rozkład temperatury na poszczególnych urządzeniach instalacji w okresie zimowym [9]: a) dla metody obliczeniowej według [2], b) dla metody obliczeniowej według [4]

Fig. 5. Distribution of temperature on each device installed in the winter [9]: a) the method of calculation [2], b) the method of calculation [4]

Elementami składowymi instalacji przedstawionej na rys. 5 są: 1 – kurtyna powietrzna, 2 – zasobnik ciepłej wody, 3 – pompa ciepła, 4 – gruntowy wymiennik ciepła.

## 5. Obliczenia dla okresu letniego

Obliczenia zostały wykonane na podstawie metody [2] i [4] z wykorzystaniem wzorów analogicznie do okresu zimowego.

### Obliczenia według metody [2]

Szerokość szczeliny  $b$  pozostaje taka sama, jak dla okresu zimowego:  $b = 0,083$  m. Położenie płaszczyzny wyrównania ciśnień określono na podstawie wzoru (2):

$$h_{wc} = \frac{6,25\text{m}^2}{\frac{0,164 \cdot 4,4\text{m}^2 \cdot 1,198\text{kg/m}^3}{0,15\text{m}^2 \cdot 1,165\text{kg/m}^3} \cdot 1 - 0,8 + \frac{0,15\text{m}^2}{0,15\text{m}^2} \cdot \frac{1,165\text{kg/m}^3}{1,175\text{kg/m}^3} + 1} = 1,28 \text{ m.}$$

Strumień powietrza zewnętrznego przenikającego do pomieszczenia określono ze wzoru (3):

$$m_{pn} = 4,4\text{m}^2 \cdot 0,164 \cdot \frac{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,28\text{m} \cdot 1,198 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,198 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,175 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}},$$

$$m_{pn} = 0,71 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2569 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Prędkość powietrza nawiewanego zależy od kierunku nawiewania i wielkości drzwi. Chociaż w katalogach producentów rzadko można się spotkać z takimi informacjami, to przy nawiewie z góry i boków przyjmuje się prędkość wypływu z nawiewników ok.  $10 \div 15$  m/s [2]. Ze względu na aerodynamikę procesu nawiewu powietrza i warunków pracy kurtyny założono taki sam strumień powietrza nawiewanego przez kurtynę, jak dla okresu zimowego:

$$m_n = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 4712 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Temperatura powietrza nawiewanego przez kurtynę określono według wzoru (5):

$$t_n = \frac{23 - [1 - (1 - 0,03) \cdot 0,8] \cdot 30}{0,8 \cdot (1 - 0,03)} = 19,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Moc chłodniczą określono ze wzoru (6) [2]:

$$Q_{ch} = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 23 - 19,7 \text{ }^\circ\text{C} = 3,04 \text{ kW}.$$

### Obliczenia według metody [4]

Wydajność powietrza dla kurtyny powietrznej pozostaje taka sama, jak dla okresu zimowego ze względu na aerodynamikę procesu nawiewu powietrza i warunków pracy kurtyny [2]:

$$m'_n = 0,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1296 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

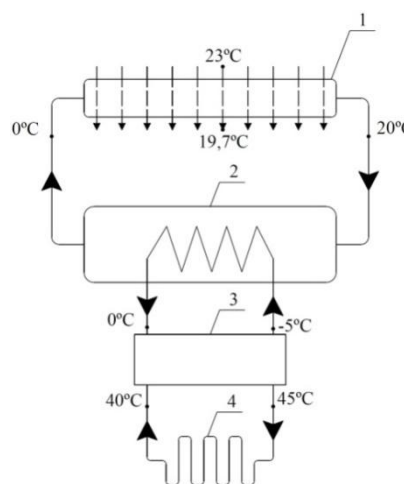
Przyjęto temperaturę strumienia powietrza nawiewanego przez kurtynę analogiczną do obliczeń według metody [2]:

$$t'_n = 19,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Moc chłodniczą określono ze wzoru (6):

$$Q_{ch} = 0,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 23 - 19,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 1,19 \text{ kW}.$$

Dane eksploatacyjne kurtyny powietrznej GuardPro200 [6] dla okresu letniego sporządzono na podstawie aproksymacji danych katalogowych [6], otrzymując wykres (rys. 6.) (nie istnieje inna metoda sporządzenia danych eksploatacyjnych): temperatura powietrza wlotowego  $23^\circ\text{C}$ , moc  $Q = 4,6 \text{ kW}$ ,  $T_1/T_2 = 0/20^\circ\text{C}$ . Moc kurtyny, tak jak dla okresu zimowego może być sterowana poprzez zmianę temperatur na wejściu do kurtyny, a także poprzez regulację przepływu strumienia wody w kurtynie.



Rys. 6. Rozkład temperatury na poszczególnych urządzeniach instalacji dla metod obliczeniowych [2] i [4] w okresie letnim [9]

Fig. 6. Distribution of temperatures on each device installation for the calculation methods [2] and [4] in the summer [9]

Elementy instalacji dla okresu letniego przedstawione na rys. 6. pozostają takie same, jak dla okresu zimowego. Rozkład temperatur w okresie letnim został sporządzony na podstawie publikacji [7].

## 6. Dobór pompy ciepła

Pompę ciepła dobrano na podstawie mocy kurtyny powietrza dla okresu zimowego  $Q = 13,3\text{kW}$ . Moc grzejną pompy ciepła obliczono ze wzoru [10]:

$$Q_{PC} = \frac{10}{10-t_z} \cdot Q_n \text{ [kW]} \tag{7}$$

gdzie: 10 – zakładany czas pracy pompy ciepła (czas otwarcia drzwi),

$Q_n$  – moc potrzebna do zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej,

$$Q_n = 13,28 \text{ kW},$$

$t_z$  – zakładany czas pracy wykorzystania zasobnika,  $t_z = 2\text{h}$ .

$$Q_{PC} = \frac{10 \text{ h}}{10 \text{ h} - 2 \text{ h}} \cdot 13,28 \text{ kW} = 16,6 \text{ kW}.$$

Dobrano pompę ciepła firmy VISSMANN VITOCAL 300-G typ 117 [11] (tab. 3.).

Tabela 3. Dane techniczne dobranej pompy ciepła VITOCAL 300-G typu 117 (temperatura solanki 7°C, temperatura wody 54°C)

Table 3. Technical data of the heat pump VITOCAL 300-G type 117 (brine temperature 7°C, water temperature 54°C)

<b>Moc grzewcza</b>	$Q_{PC}$	18,5 kW
<b>Wydajność chłodnicza</b>	$Q_d$	13,2 kW
<b>Pobór mocy elektrycznej</b>	$P$	5,6 kW
<b>Stopień efektywności</b>	$\varepsilon$	3,3

Do pompy ciepła Vitocal 300-G dobrano urządzenie (AC-Box) [11], które umożliwia odwrotną pracę pompy ciepła – tryb chłodzenia. Takie chłodzenie określa się również jako „odwrócony” tryb pracy pompy ciepła. Maksymalna moc modułu zależy od mocy zainstalowanej pompy ciepła; w rozpatrywanym przypadku wynosi ona 13,2 kW.

Zapotrzebowanie na ciepło z gruntu dla okresu zimowego obliczono ze wzoru [11]:

$$Q_d = Q_{PC} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \text{ [kW]} \quad (8)$$

$$Q_d = 18,5 \text{ kW} \cdot \frac{3,3 - 1}{3,3} = 12,9 \text{ kW}.$$

Ilość ciepła, jaką należy przekazać do gruntu dla okresu letniego, obliczono na podstawie zmodyfikowanego wzoru (8) [9]:

$$Q_g = Q_{ch} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \text{ kW},$$

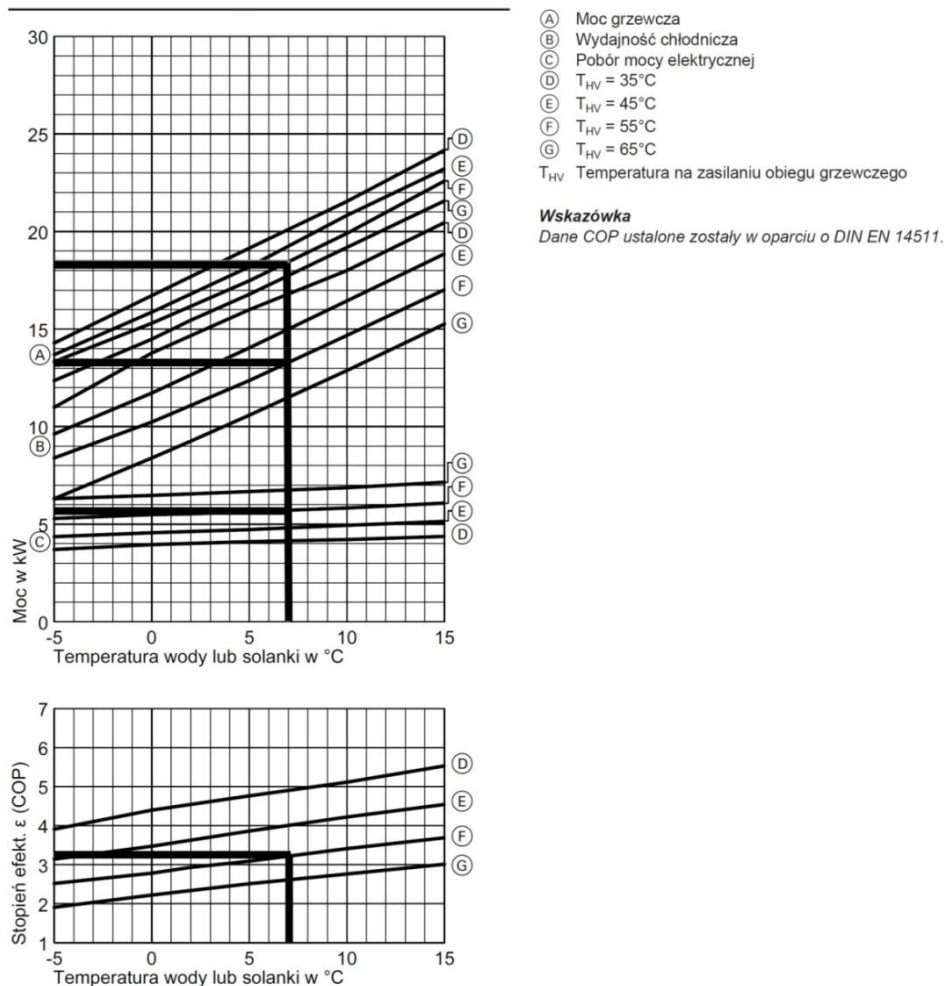
$$Q_g = 8,0 \cdot \frac{3,6}{3,6 - 1} = 11,1 \text{ kW},$$

gdzie:  $Q_{ch}$  – moc chłodnicza kurtyny powietrznej,  $Q_{ch} = 8,0 \text{ kW}$ ,

$\varepsilon$  – stopień efektywności odczytany z wykresu (rys. 5.) dla  $Q_{ch} = 8,0 \text{ kW}$ ,

$$\varepsilon = 3,6.$$

Typ 117

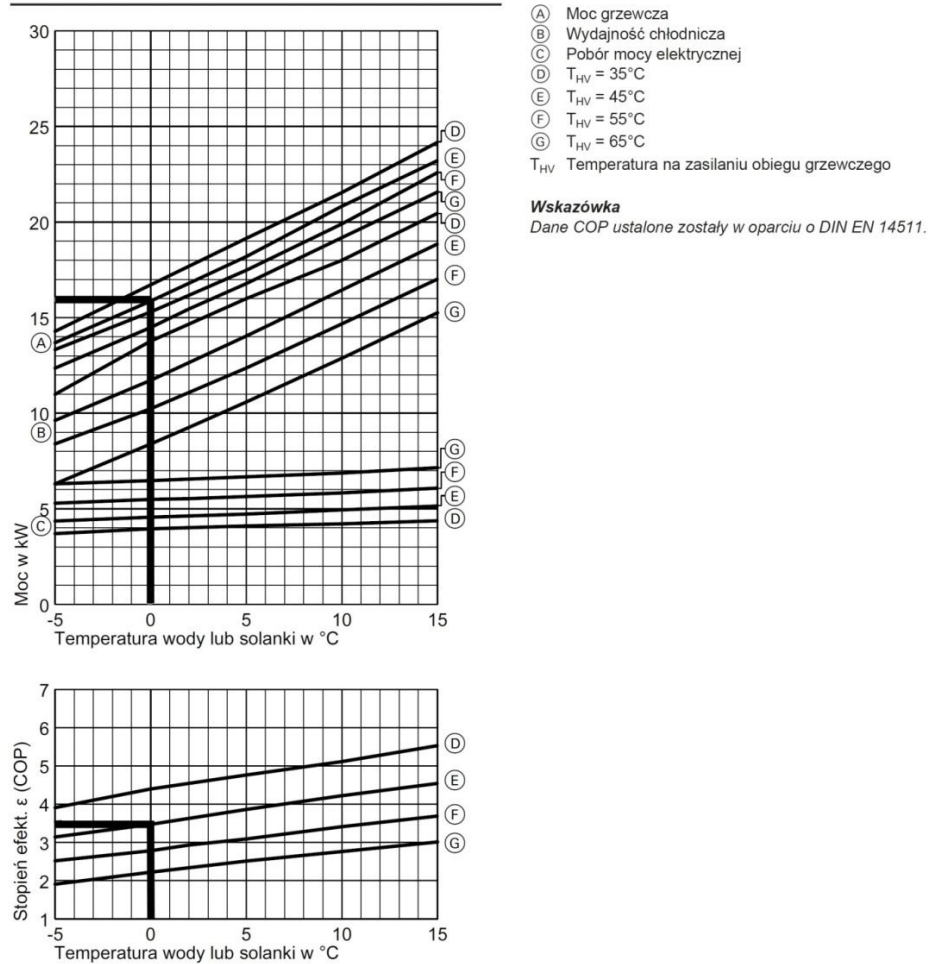


Rys. 7. Wykres wydajności dobranej pompy ciepła BW 117 firmy Viessmann, na podstawie [11] dla okresu zimowego

Fig. 7. Capacity graph of the heat pump Viessmann BW 117, according to [11] for the winter period

Dobór wymiennika gruntowego przeprowadzono zgodnie z zaleceniami producenta pomp ciepła współpracujących z wymiennikami gruntowymi firmy VISSMANN [11]. Wymiennik zaprojektowano jako poziomy z równoległym prowadzeniem rur (rys. 7., 8.).

Typ 117



Rys. 8. Wykres wydajności dobranej pompy ciepła BW 117 firmy Viessmann dla okresu letniego, na podstawie [11]

Fig. 8. Capacity graph of the heat pump Viessmann BW 117 for the summer period, based on [11]

Średnia moc poboru ciepła z gruntu wynosi:  $q_e = 35 \text{ W/m}$  (wartość dla gruntu wilgotnego gliniastego). Długość wymiennika gruntowego wyznaczono ze wzoru [12]:

$$L = \frac{Q_d}{q_e} \text{ [m]} \quad (9)$$

$$L = 369 \text{ m.}$$

Przyjmuję długość gruntowego wymiennika ciepła równą  $L = 370 \text{ m}$ .

## 7. Wnioski

Pomieszczenia użyteczności publicznej poprzez duży przepływ osób (częste otwieranie drzwi) wymagają zwiększonych kosztów na ogrzewanie w okresie zimowym i chłodzenie w okresie letnim powietrza w pomieszczeniach. W tych przypadkach przez zastosowanie kurtyny powietrznej następuje zmniejszenie strat.

Przy wykorzystaniu metod obliczeniowych opublikowanych w literaturze w przypadku doboru kurtyn powietrznych wyniki obliczeń nie pokrywają się na co, wpływ na mają przede wszystkim różne założenia oraz wykorzystanie różnych wstępnych danych obliczeniowych przy jednakowych warunkach eksploatacji.

Analiza empirycznych metod obliczeniowych doboru pompy ciepła z wykorzystaniem danych katalogowych producentów dla jednakowych warunków eksploatacyjnych wejścia do budynku wykazały różne warianty eksploatacji kurtyn powietrznych w przykładzie obliczeniowym. Przy zbliżonej obliczeniowej mocy cieplnej kurtyny powietrznej otrzymuje się różne temperatury powietrza nawiewanego i różne ilości strumienia powietrza nawiewanego.

W katalogach technicznych kurtyn powietrznych są zawarte informacje dotyczące jedynie wysokich parametrów czynnika grzewczego, co uniemożliwia prawidłową analizę współpracy pompy ciepła i kurtyny powietrznej. Wykorzystanie dla kurtyn powietrznych pompy ciepła pracującej przy racjonalnych parametrach eksploatacyjnych wymaga dopasowania technologicznego i konstrukcyjnego.

## Literatura

- [1] Materiały techniczne kurtyn powietrznych firmy Frico, [www.argus.jaslo.pl](http://www.argus.jaslo.pl).
- [2] Pelech A.: Wentylacja i klimatyzacja – podstawy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [3] Kijanka R., Pisarev V.: System zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej z wykorzystaniem pompy ciepła i gruntowego wymiennika ciepła. Prace Kół Naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2007/2008, s. 59-69.
- [4] Sprawocznik projektirowszczyka. Wentylacja i kondicioniowanie powietrza, cz. II. Strojizdat, 1977.
- [5] PN-76/B-03420: Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.
- [6] [www.sonniger.pl](http://www.sonniger.pl).
- [7] Adamczyk M., Sałaciński B., Pisarev V.: Temperaturowy zakres pracy chłodziarki sprężarkowej. Prace Kół Naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2005/2006, s. 57-67.
- [8] <http://ogrzewanie.drewnozamiastbenzyny.pl>.

- [9] Pisarev V., Nowak K.: Analiza techniczna i ekonomiczna pracy gruntowej pompy ciepła na gruntach różnej wilgotności. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 59, t. II, Rzeszów 2012, s. 589-598.
- [10] Grzegorz W., Stanisław G., Gryciuk M.: Kolektory słoneczne, poradnik wykorzystania energii słonecznej. Warszawa 2001.
- [11] [www.viessmann.pl](http://www.viessmann.pl).
- [12] Pompy ciepła. Poradnik projektanta. Viessmann, 2006.

## ANALYSIS OF AIR CURTAIN WITH GROUNDHEAT PUMP COOPERATION

### Summary

The air curtain is a device which aims to create isolating barrier for air flow between rooms or zones of different temperatures. In large locations such as industrial halls, workshops, warehouses, supermarkets and shopping centers door is left open for extended periods of time. This is due for example to the necessity of loading and unloading of goods at the back of the warehouse, or entering and leaving customers from the shopping center. Open door, often large in size, resulting in a significant loss of heat and disrupt the climate of the interior. If there is a large difference in temperature between the air inside and outside, you may experience problems with drafts and maintaining the right temperature in the room. Curtain creates the airflow shroud that keeps the air inside the room when the door is open. In the winter, the warm air stream blown prevents release of cold air into the room, reducing heat loss and thus the loss of energy. In summer is an excellent barrier to the hot air incoming from outside the room. The air curtain is also difficult to penetrate into the dust, fumes and insects, while for humans it is invisible and does not constitute an obstacle. This paper presents an analysis of cooperating the air curtain and heat pump during the whole year with a comparison of calculation methods published in the literature. Analysis was performed for the example public building (shopping center) during the whole year. The results will be helpful in the selection of the air curtains when choosing and ratings the one of the methods of calculation published in the literature.

**Keywords:** air curtain, heat pump, ventilation, heat losses

DOI:10.7862/rb.2013.66

*Przesłano do redakcji: 08.11.2013 r.*

*Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.*