

**SPRAWOZDANIE Z BADAŃ nr 1/04/2020 z dnia 14.04.2020**



AB 1632



**Temat:**

Badania zestawu 3 różnych wymiarów przepustnic w zakresie: przecieku powietrza zamkniętej przepustnicy, przecieku powietrza na obudowie przepustnicy, charakterystyki aerodynamicznej (spadek ciśnienia w funkcji strumienia przepływu powietrza), momentu obrotowego potrzebnego do rozpoczęcia otwierania całkowicie zamkniętej przepustnicy oraz momentu obrotowego potrzebnego do rozpoczęcia zamykania całkowicie otwartej przepustnicy

**Zlecniodawca:**

P.W. Klima-Went Sp. z o.o., ul. Budowlana 1, 20-469 Lublin

**Numer umowy:**

Ś-6/104/2020/P

**Z dnia:**

26.03.2020

**Kierownik tematu:**

dr hab. inż. Agnieszka Lechowska, prof. PK

**Wykonawcy:**

prof. dr hab. inż. Jacek Schnotale

Kraków, kwiecień 2020

## SPIS TREŚCI

### STRESZCZENIE

1. OPIS OBIEKTU BADAŃ
2. PROCEDURA BADAŃ
3. WYNIKI SZCZEGÓŁOWE
  - 3.1. BADANIE PRZECIEKU POWIETRZA ZAMKNIĘTEJ PRZEPUSTNICY
  - 3.2. BADANIE PRZECIEKU POWIETRZA NA OBUDOWIE PRZEPUSTNICY
  - 3.3. BADANIE CHARAKTERYSTYKI AERODYNAMICZNEJ
  - 3.4. BADANIE MOMENTU OBROTOWEGO
4. OPINIA

## Podsumowanie

Na zlecenie firmy Klima-Went Sp. z o.o. w Laboratorium Inżynierii Ciepłej Politechniki Krakowskiej poddano badaniu trzy przepustnice zamykające, aluminiowe, wielopłaszczyznowe o przekroju prostokątnym. Przepustnice byłytego samego typu, o różnych wymiarach. Badania wykonano zgodnie z normą PN-EN 1751:2014-03 *Wentylacja budynków - Urządzenia wentylacyjne końcowe - Badania aerodynamiczne przepustnic regulacyjnych i zamykających*. Celem badań było określenie: przecieku powietrza przez zamknięte przepustnice, przecieku powietrza na obudowach przepustnic, charakterystyk aerodynamicznych przepustnic, maksymalnych momentów obrotowych przy otwieraniu/zamykaniu przepustnic.

## 1. Opis obiektu badań / Description of test specimen

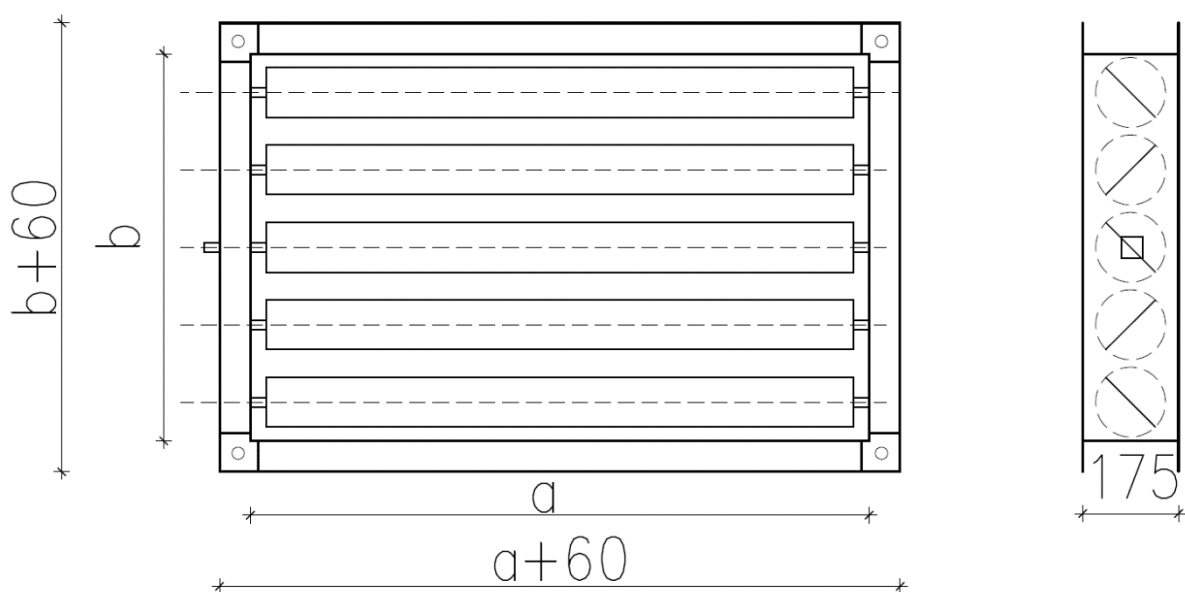
Badania przeprowadzono w Laboratorium Inżynierii Ciepłej Politechniki Krakowskiej przy ulicy Warszawskiej 24 w Krakowie.

Badaniu poddano łącznie 3 przepustnice zamykające o przekroju prostokątnym, wszystkie z jednego typu przepustnic. Wykonane są z profili aluminiowych. W każdej z przepustnic jest po kilka rzędów lameli domykających. Przepustnice są zamykane ręcznie i posiadają blokadę położenia, przy czym możliwe jest ustawienie kąta lameli od pełnego otwarcia do pełnego zamknięcia przepustnicy. Należy dodać, że badane przepustnice są również produkowane z napędem siłownikowym.

Dane geometryczne badanych przepustnic oraz zastosowane nazewnictwo podano w tabeli 1, natomiast w tabeli 2 zestawiono wymiary przepustnic w typoszeregu KW-PWP. Dodatkowo schemat przepustnic KW-PWP zamieszczono na rysunku 1.

Tab. 1. Dane geometryczne badanych przepustnic

Przepustnica	Wymiary wewnętrzne rzeczywiste, długość x wysokość, mm	Powierzchnia prześwitu, m <sup>2</sup>	Powierzchnia obudowy, m <sup>2</sup>
KW-PWP, 400 x 400	395 x 403	0.159	1.596
KW-PWP, 1000 x 500	994 x 503	0.500	2.994
KW-PWP, 1000 x 1000	995 x 1003	0.998	3.996



Rys. 1. Schemat przepustnic typu KW-PWP

Tab. 2. Wymiary przepustnic w typoszeregu KW-PWP wraz z ilością łopatek

b [mm]	a [mm]										
	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
200	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
250	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
315	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
400	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
500	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
630	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
800	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1000	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1250	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1600	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
2000	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

## 2. Procedura badań / Experiment procedure

Badania obejmowały pomiar strumienia powietrza przepływającego przez zamknięte przepustnice (przeciek powietrza) zamontowane zgodnie z podanym przez Klienta kierunkiem przepływu powietrza. Pomiar miał na celu określenie spełnienia wymagań odpowiedniej klasy szczelności zamknięcia przepustnic.

Kolejny etap badań obejmował pomiar strumienia powietrza przepływającego przez zaślepioną obudowę przepustnic (przeciek powietrza). Pomiar miał na celu określenie spełnienia wymagań odpowiedniej klasy szczelności obudowy przepustnic.

Trzeci etap badań dotyczył charakterystyk aerodynamicznych przepustnic, czyli zależności strumienia przepływu powietrza od ciśnienia dla przepustnic całkowicie otwartych.

Ostatnia faza badań dotyczyła pomiaru momentu obrotowego niezbędnego do rozpoczęcia otwierania zamkniętej przepustnicy oraz do rozpoczęcia zamykania otwartej przepustnicy.

Pomiar przepływu powietrza został przeprowadzony przy użyciu zespołu kryz pomiarowych, zgodnie z normami PN-EN ISO 5167-1:2005 - *Pomiary strumienia płynu za pomocą zwężek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym - Część 1: Zasady i wymagania ogólne* oraz PN-EN ISO 5167-2:2005 - *Pomiary strumienia płynu za pomocą zwężek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym -- Część 2: Kryzy*. Przy większych przepływach powietrza do pomiaru strumienia przepływu powietrza zastosowano kratownicę pomiarową o średnicy 26" bazującą na zasadzie pomiaru podobnej do innych elementów spiętrzających takich jak: kryzy, dysze lub rurki Prandtla.

Pomiary momentu obrotowego wykonano za pomocą siłomierza skrętnego.

Wszystkie stosowane przyrządy pomiarowe i czujniki posiadały aktualne świadectwa wzorcowania wystawione przez akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji laboratoria wzorcujące.

Wszystkie pomiary wykonano zgodnie normą PN-EN 1751:2014-03 *Wentylacja budynków - Urządzenia wentylacyjne końcowe - Badania aerodynamiczne przepustnic regulacyjnych i zamykających*.

Badania wykonano w dniach 1 ÷ 15.03.2020 r. W pierwszym kroku dokonano ogólnej kontroli stanowisk pomiarowych oraz zbadano szczelność kanału pomiarowego na stanowisku. Otrzymane wyniki przecieku układu kanału pomiarowego są znikome i nie mają wpływu na wyniki pomiarów przepustnic. W drugim kroku podjęto badania, których wyniki zostały podane w kolejnych rozdziałach.

### 3. Wyniki szczegółowe / Detailed results

#### 3.1. Badanie przecieku powietrza zamkniętej przepustnicy / Closed damper leakage tests

Poniżej zostały podane wyniki pomiarów oraz obliczeń przecieku powietrza kolejno przez trzy badane zamknięte przepustnice jak w tabeli 1. Należy dodać, że przy kwalifikacji przepustnic do danej kategorii zgodnie z normą PN-EN 1751:2014 przyjmuje się, że jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży po prawej stronie od linii kropkowanej A, oznacza to klasę 0 szczelności zamknięcia przepustnicy. Jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży pomiędzy linią „kropka-kreska” B i kropkowaną A, oznacza to klasę 1 szczelności zamknięcia przepustnicy. Jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży pomiędzy linią kreskowaną C i linią „kropka-kreska” B, oznacza to klasę 2 szczelności zamknięcia przepustnicy. Jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży pomiędzy linią czarną ciągłą D i kreskowaną C, oznacza to klasę 3 szczelności zamknięcia przepustnicy. Jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży po lewej stronie linii czarnej ciągłej D, oznacza to klasę 4 szczelności zamknięcia przepustnicy. Im wyższa klasa przepustnicy, tym jest ona bardziej szczelna. Na wykresach wyniki pomiarów dotyczących danej przepustnicy są zaznaczone czarnymi kwadratami oraz dodatkowo szarą linią trendu.

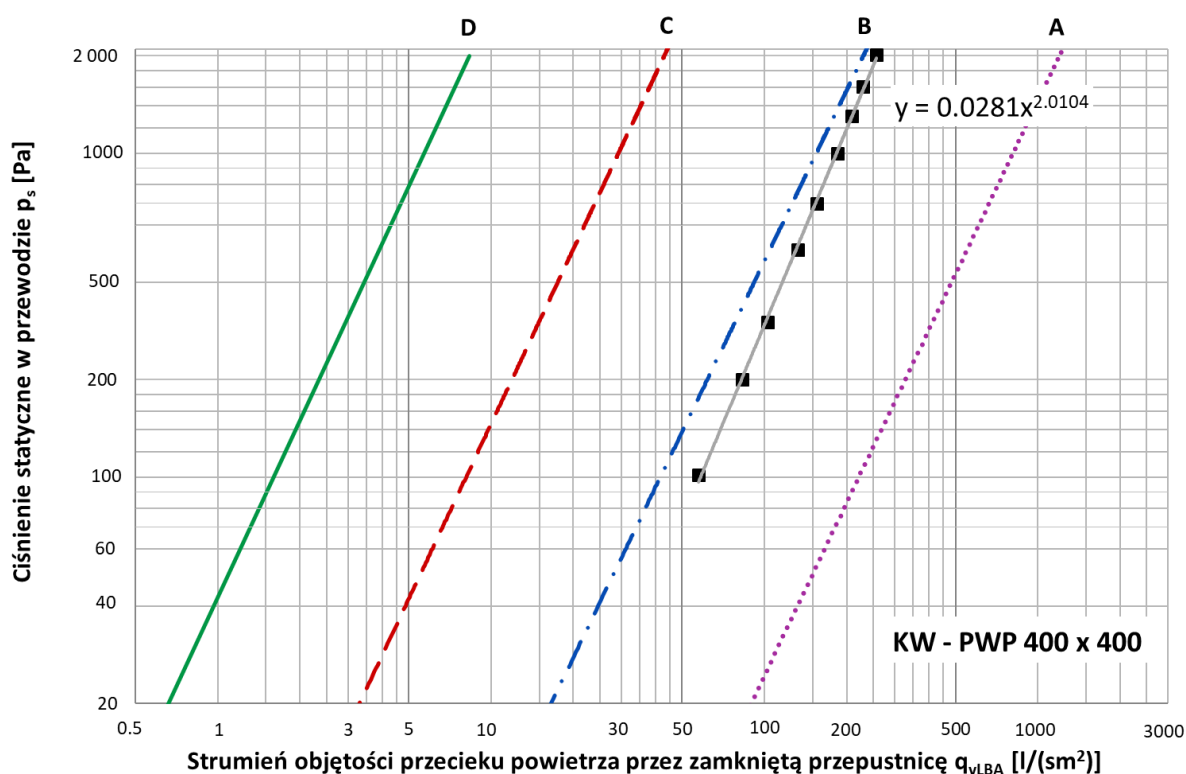
Przy określaniu klasy szczelności zamknięcia przepustnic stosowano przewodnik ILAC-G8 - *Wytyczne dotyczące przedstawiania zgodności ze specyfikacją*. Wyniki pomiarów i obliczeń uwzględniają pasmo ochronne U95.

#### Przepustnica KW-PWP, 400 x 400

Wyniki pomiarów przecieku powietrza przez zamkniętą przepustnicę podano w tabeli 3 oraz na rysunku 2.

Tabela 3. Wyniki obliczeń przecieku powietrza przez zamkniętą przepustnicę KW-PWP, 400 x 400 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.3°C, wilgotność względna powietrza 27% i ciśnienie atmosferyczne 98.41 kPa

Lp.	Kryza pomiarowa	Ciśnienie różnicowe na kryzie	Ciśnienie statyczne w przewodzie na dopływie do kształtki	Strumień objętości przecieku powietrza	Niepewność strumienia objętości przecieku powietrza	Linia trendu
		$\Delta p$	$p_s$	$q_{VLBA}$	$\Delta q_{VLBA}$	
		Pa	Pa	l/(s m <sup>2</sup> )	l/(s m <sup>2</sup> )	
1	K2	237.2	101	57.41	0.11	$p_s = 0.0281 q_{VLBA}^{2.0104}$
2	K2	501.0	200	82.92	0.17	
3	K2	772.1	301	102.62	0.21	
4	K2	1293	504	132.34	0.26	
5	K2	1788	701	155.13	0.31	
6	K2	2547	1001	184.92	0.37	
7	K2	3238	1303	208.20	0.42	
8	K2	3944	1604	229.47	0.46	
9	K2	4958	2014	256.81	0.51	



Rys. 2. Wykres przecieku powietrza przez zamkniętą przepustnicę KW-PWP, 400 x 400 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.3°C, wilgotność względna powietrza 27% i ciśnienie atmosferyczne 98.41 kPa

#### Legenda:

Czarne linie (ciągła, kreskowana, „kropka-kreska”, kropkowana – granice klas szczelności, Czarne punkty – nieszczelność zamknięcia przepustnicy (przeciek powietrza przez zamkniętą przepustnicę) wraz z szarą linią trendu.

Na podstawie wykonanych badań i przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że **badany egzemplarz przepustnicy KW-PWP, 400 x 400 o wymiarach wewnętrznych 400 mm x 400 mm spełnia wymagania klasy 1 szczelności zamknięcia**. Wyniki pomiarów i obliczeń objętościowego strumienia przecieku powietrza z uwzględnieniem pasma ochronnego U95 znajdują się w strefie akceptacji dla klasy 1. Ryzyko błędnej akceptacji wynosi poniżej 2.5%.

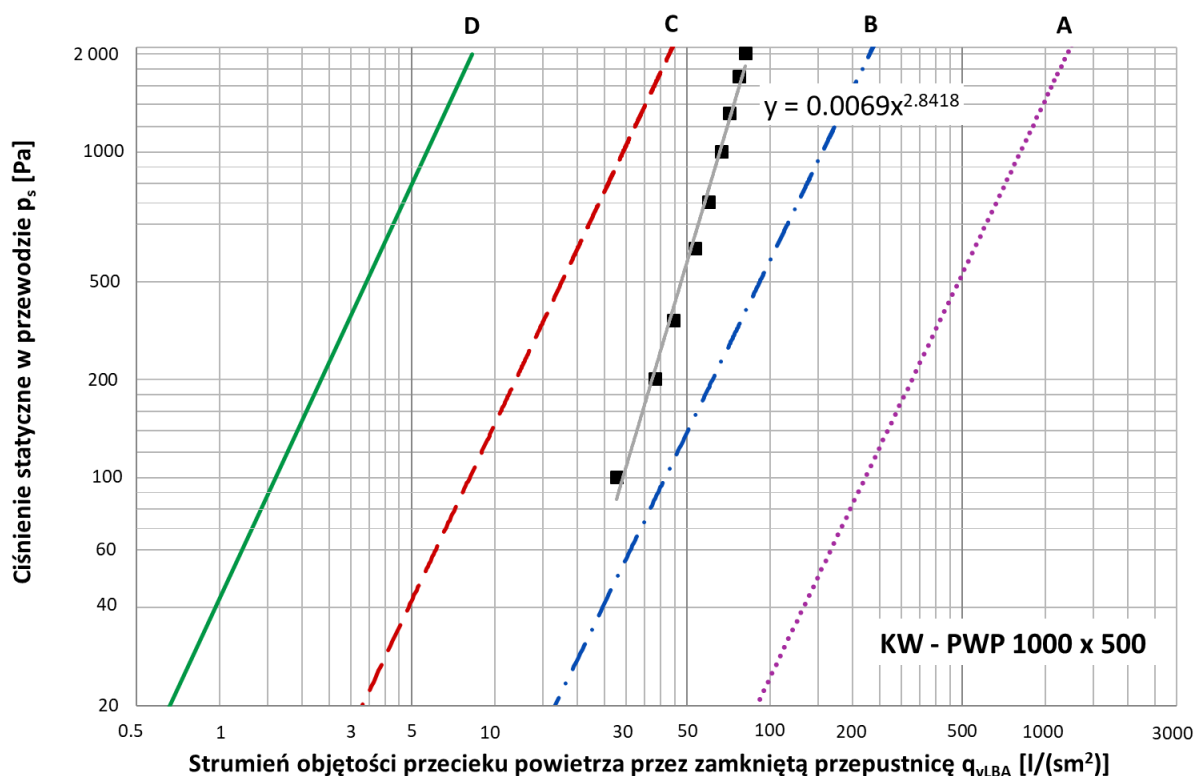
### Przepustnica KW-PWP, 1000 x 500

Wyniki pomiarów przecieku powietrza przez zamkniętą przepustnicę podano w tabeli 4 oraz na rysunku 3.

Tabela 4. Wyniki obliczeń przecieku powietrza przez zamkniętą przepustnicę KW-PWP, 1000 x 500 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.1°C, wilgotność względna powietrza 29% i ciśnienie atmosferyczne 98.37 kPa

Lp.	Kryza pomiarowa	Ciśnienie różnicowe na kryzie	Ciśnienie statyczne w przewodzie na dopływie do kształtki	Strumień objętości przecieku powietrza	Niepewność strumienia objętości przecieku powietrza	Linia trendu
		$\Delta p$	$p_s$	$q_{VLBA}$	$\Delta q_{VLBA}$	
		Pa	Pa	$l/(s \cdot m^2)$	$l/(s \cdot m^2)$	
1	K2	552	101	27.67	0.06	$p_s = 0.0069 q_{VLBA}^{2.8418}$
2	K2	1064	202	38.23	0.08	
3	K2	1458	305	44.65	0.09	
4	K2	2102	506	53.47	0.11	
5	K2	2648	703	59.91	0.12	
6	K2	3259	1004	66.39	0.13	
7	K2	3751	1322	71.20	0.14	
8	K2	4385	1707	76.94	0.15	
9	K2	4911	2016	81.39	0.16	





Rys. 3. Wykres przecieku powietrza przez zamkniętą przepustnicę KW-PWP, 1000 x 500 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.1°C, wilgotność względna powietrza 29% i ciśnienie atmosferyczne 98.37 kPa

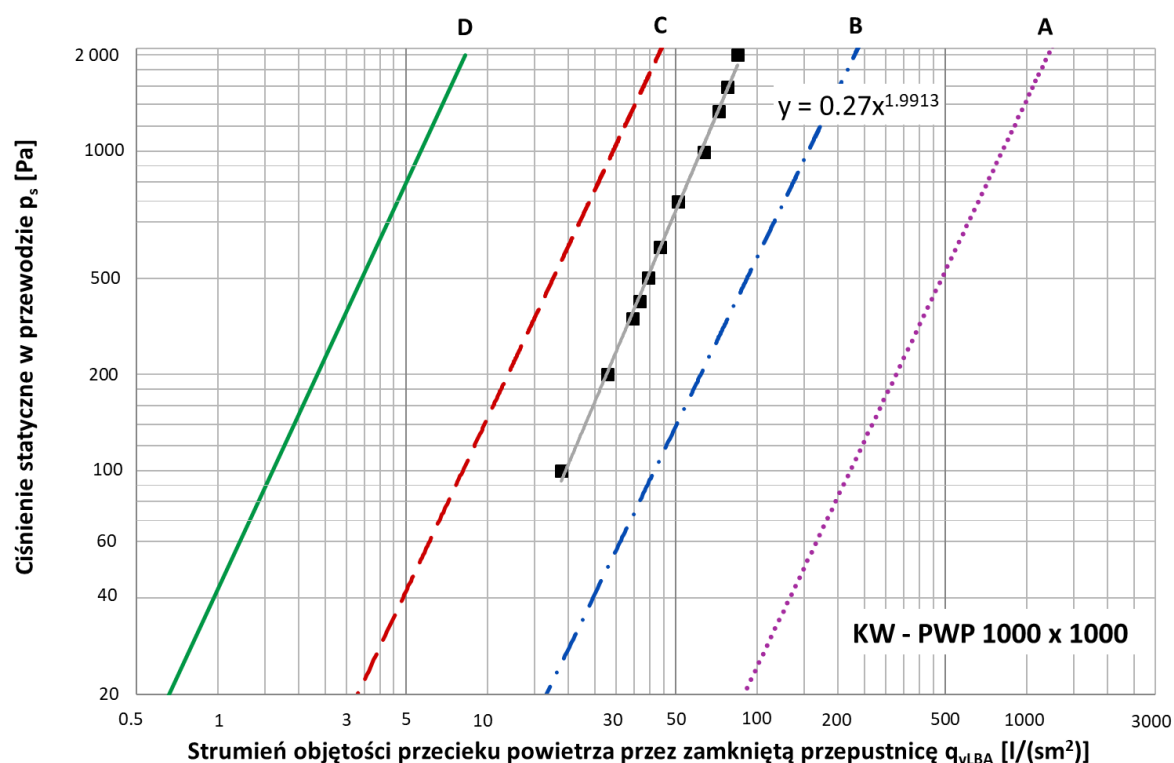
Na podstawie wykonanych badań i przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że **badany egzemplarz przepustnicy KW-PWP, 1000 x 500 o wymiarach wewnętrznych 1000 mm x 500 mm spełnia wymagania klasy 2 szczelności zamknięcia**. Wyniki pomiarów i obliczeń objętościowego strumienia przecieku powietrza z uwzględnieniem pasma ochronnego U95 znajdują się w strefie akceptacji dla klasy 2. Ryzyko błędnej akceptacji wynosi poniżej 2.5%.

## Przepustnica KW-PWP, 1000 x 1000

Wyniki pomiarów przecieku powietrza przez badaną przepustnicę podano w tabeli 5 oraz na rysunku 4.

Tabela 5. Wyniki obliczeń przecieku powietrza przez zamkniętą przepustnicę KW-PWP, 1000 x 1000 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.3°C, wilgotność względna powietrza 32% i ciśnienie atmosferyczne 98.12 kPa

Lp.	Kryza pomiarowa	Ciśnienie różnicowe na kryzie	Ciśnienie statyczne w przewodzie na dopływie do kształtki	Strumień objętości przecieku powietrza	Niepewność strumienia objętości przecieku powietrza	Linia trendu
		$\Delta p$	$p_s$	$q_{VLBA}$	$\Delta q_{VLBA}$	
		Pa	Pa	$l/(s \cdot m^2)$	$l/(s \cdot m^2)$	
1	K2	1011	100	18.80	0.04	$p_s = 0.27 q_{VLBA}^{1.9913}$
2	K2	2265	200	27.94	0.06	
3	K2	3503	300	34.57	0.07	
4	K2	3981	339	36.78	0.07	
5	K2	4604	402	39.47	0.08	
6	K2	5687	501	43.72	0.09	
7	K2	7796	695	50.85	0.10	
8	K5	18.4	994	63.66	0.13	
9	K5	23.6	1337	72.14	0.14	
10	K5	27.3	1587	77.65	0.16	
11	K5	32.3	2008	84.60	0.17	



Rys. 4. Wykres przecieku powietrza przez zamkniętą przepustnicę KW-PWP, 1000 x 1000 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.3°C, wilgotność względna powietrza 32% i ciśnienie atmosferyczne 98.12 kPa

Na podstawie wykonanych badań i przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że **badany egzemplarz przepustnicy KW-PWP, 1000 x 1000 o wymiarach wewnętrznych 1000 mm x 1000 mm spełnia wymagania klasy 2 szczelności zamknięcia**. Wyniki pomiarów i obliczeń objętościowego strumienia przecieku powietrza z uwzględnieniem pasma ochronnego U95 znajdują się w strefie akceptacji dla klasy 2. Ryzyko błędnej akceptacji wynosi poniżej 2.5%.

## Podsumowanie wyników badań szczelności zamknięcia przepustnic

Wyniki badań szczelności zamknięcia przepustnic zebrano w tabeli 6, gdzie podano klasy szczelności zamknięcia, jakie spełnia dana przepustnica.

Tab. 6. Podsumowanie klas szczelności zamknięcia przepustnic

Przepustnica	Klasa szczelności zamknięcia
KW-PWP, 400 x 400	1
KW-PWP, 1000 x 500	2
KW-PWP, 1000 x 1000	2

Na podstawie wyników z powyższej tabeli można przenieść wyniki pomiarów i obliczeń na cały typoszereg przepustnic i można stwierdzić że:

- przepustnice KW-PWP w zakresie wymiarów (szerokość x wysokość) od 200 mm x 200 mm do 400 mm x 400 mm włącznie spełniają wymagania klasy 1 szczelności zamknięcia,
- przepustnice KW-PWP w zakresie wymiarów (szerokość x wysokość) powyżej wymiaru 400 mm x 400 mm do 2000 mm x 2000 mm spełniają wymagania klasy 2 szczelności zamknięcia.

### 3.2. Badanie przecieku powietrza na obudowie przepustnicy / Casing leakage tests

Poniżej zostały podane wyniki pomiarów oraz obliczeń przecieku powietrza przez obudowy kolejno trzech badanych przepustnic jak w tabeli 1. Należy dodać, że przy kwalifikacji obudowy przepustnic do danej klasy zgodnie z normą PN-EN 1751:2014 przyjmuje się, że jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży po prawej stronie linii kropkowanej A, oznacza to klasę 0 szczelności obudowy przepustnicy. Jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży pomiędzy linią kreskowaną B i kropkowaną A, oznacza to klasę A szczelności obudowy przepustnicy. Jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży pomiędzy linią czarną ciągłą C i kreskowaną B, oznacza to klasę B szczelności obudowy przepustnicy. Jeżeli wykres pomiarów przecieku powietrza leży po lewej stronie linii czarnej ciągłej C, oznacza to klasę C szczelności obudowy przepustnicy. Im wyższa klasa, tym obudowa jest bardziej szczelna, czyli najbardziej szczelna obudowa ma klasę C.

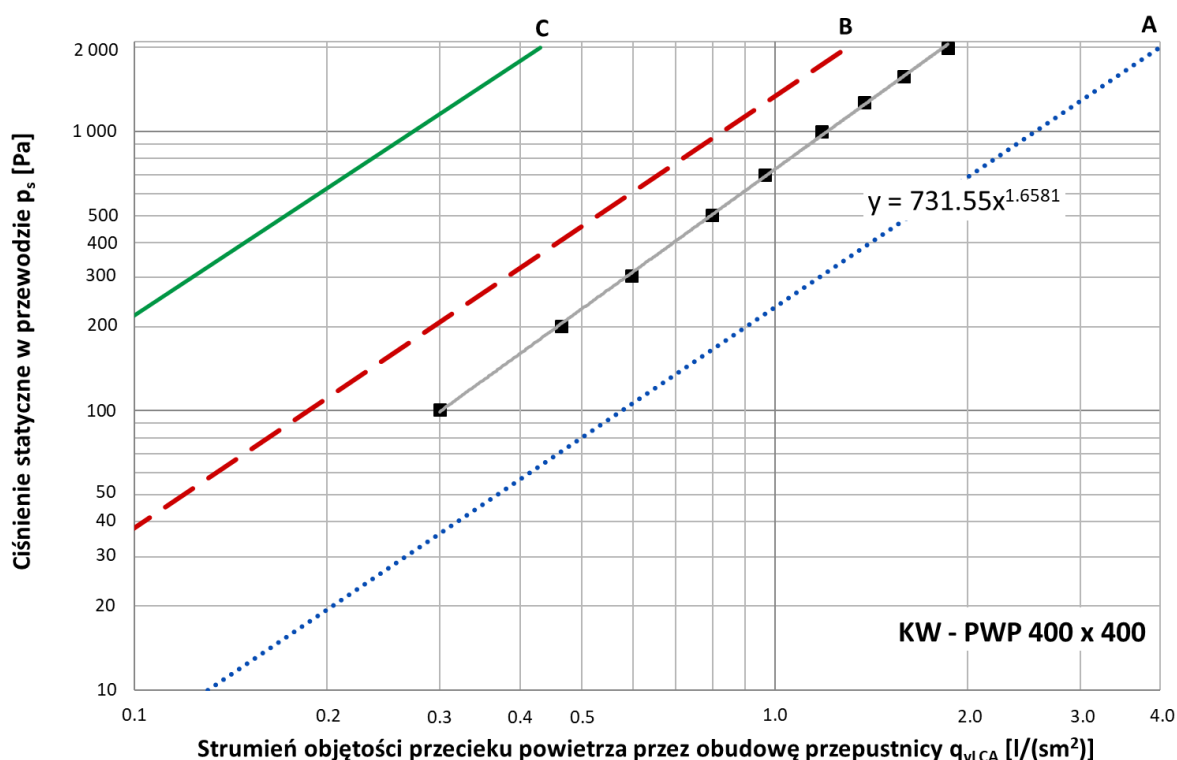
Badania szczelności obudowy przepustnicy wykonano przy zaślepionych obydwu końcach przepustnicy.

### Przepustnica KW-PWP, 400 x 400

Wyniki pomiarów przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy podano w tabeli 7 oraz na rysunku 5.

Tabela 7. Wyniki obliczeń przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy KW-PWP, 400 x 400 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.6°C, wilgotność względna powietrza 27% i ciśnienie atmosferyczne 98.37 kPa

Lp.	Kryza pomiarowa	Ciśnienie różnicowe na kryzie	Ciśnienie statyczne w przewodzie na dopływie do kształtki	Strumień objętości przecieku powietrza	Niepewność strumienia objętości przecieku powietrza	Linia trendu
		$\Delta p$	$p_s$	$q_{VLCA}$	$\Delta q_{VLCA}$	
		Pa	Pa	$l/(s \cdot m^2)$	$l/(s \cdot m^2)$	
1	K1	132	100.6	0.299	0.001	$p_s = 731.55 q_{VLCA}^{1.6581}$
2	K1	318	200.7	0.465	0.001	
3	K1	526	303.8	0.597	0.001	
4	K1	943	502.4	0.799	0.002	
5	K1	1381	700.7	0.964	0.002	
6	K1	2080	1001.4	1.184	0.002	
7	K1	2851	1274.2	1.382	0.003	
8	K1	3801	1575.0	1.593	0.003	
9	K1	5260	1992.5	1.866	0.004	



Rys. 5. Wykres przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy KW-PWP, 400 x 400 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.6°C, wilgotność względna powietrza 27% i ciśnienie atmosferyczne 98.37 kPa

Legenda:

Czarne linie – granice klas szczelności obudowy,

Czarne punkty – nieszczelność obudowy przepustnicy wraz z szarą linią trendu.

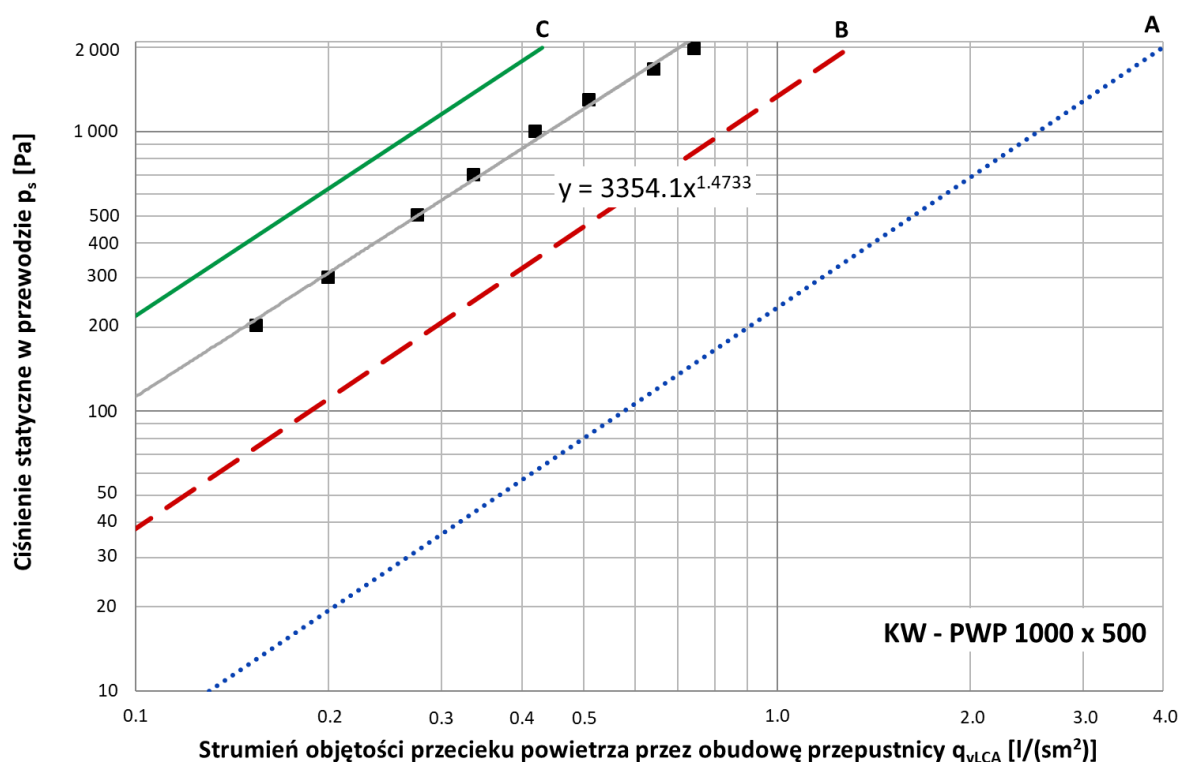
Na podstawie wykonanych badań i przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że **badany egzemplarz przepustnicy KW-PWP, 400 x 400 o wymiarach wewnętrznych 400 mm x 400 mm spełnia wymagania klasy A szczelności obudowy**. Wyniki pomiarów i obliczeń objętościowego strumienia przecieku powietrza przez obudowę z uwzględnieniem pasma ochronnego U95 znajdują się w strefie akceptacji dla klasy A. Ryzyko błędnej akceptacji wynosi poniżej 2.5%.

### Przepustnica KW-PWP, 1000 x 500

Wyniki pomiarów przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy podano w tabeli 8 oraz na rysunku 6.

Tabela 8. Wyniki obliczeń przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy KW-PWP, 1000 x 500 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.4°C, wilgotność względna powietrza 29% i ciśnienie atmosferyczne 98.39 kPa

Lp.	Kryza pomiarowa	Ciśnienie różnicowe na kryzie	Ciśnienie statyczne w przewodzie na dopływie do kształtki	Strumień objętości przecieku powietrza	Niepewność strumienia objętości przecieku powietrza	Linia trendu
		$\Delta p$	$p_s$	$q_{VLCA}$	$\Delta q_{VLCA}$	
		Pa	Pa	$l/(s \cdot m^2)$	$l/(s \cdot m^2)$	
1	K1	44.2	101	0.0928	0.0002	$p_s = 3354.1 q_{VLCA}^{1.4733}$
2	K1	122.4	203	0.1540	0.0003	
3	K1	205.6	303	0.1995	0.0004	
4	K1	388.8	505	0.275	0.001	
5	K1	582.2	705	0.336	0.001	
6	K1	904.0	1004	0.418	0.001	
7	K1	1339	1304	0.508	0.001	
8	K1	2137	1684	0.642	0.001	
9	K1	2860	1997	0.741	0.001	



Rys. 6. Wykres przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy KW-PWP, 1000 x 500 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.4°C, wilgotność względna powietrza 29% i ciśnienie atmosferyczne 98.39 kPa

Na podstawie wykonanych badań i przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że **badany egzemplarz przepustnicy KW-PWP, 1000 x 500 o wymiarach wewnętrznych 1000 mm x 500 mm spełnia wymagania klasy B szczelności obudowy**. Wyniki pomiarów i obliczeń objętościowego strumienia przecieku powietrza przez obudowę z uwzględnieniem pasma ochronnego U95 znajdują się w strefie akceptacji dla klasy B. Ryzyko błędnej akceptacji wynosi poniżej 2.5%.

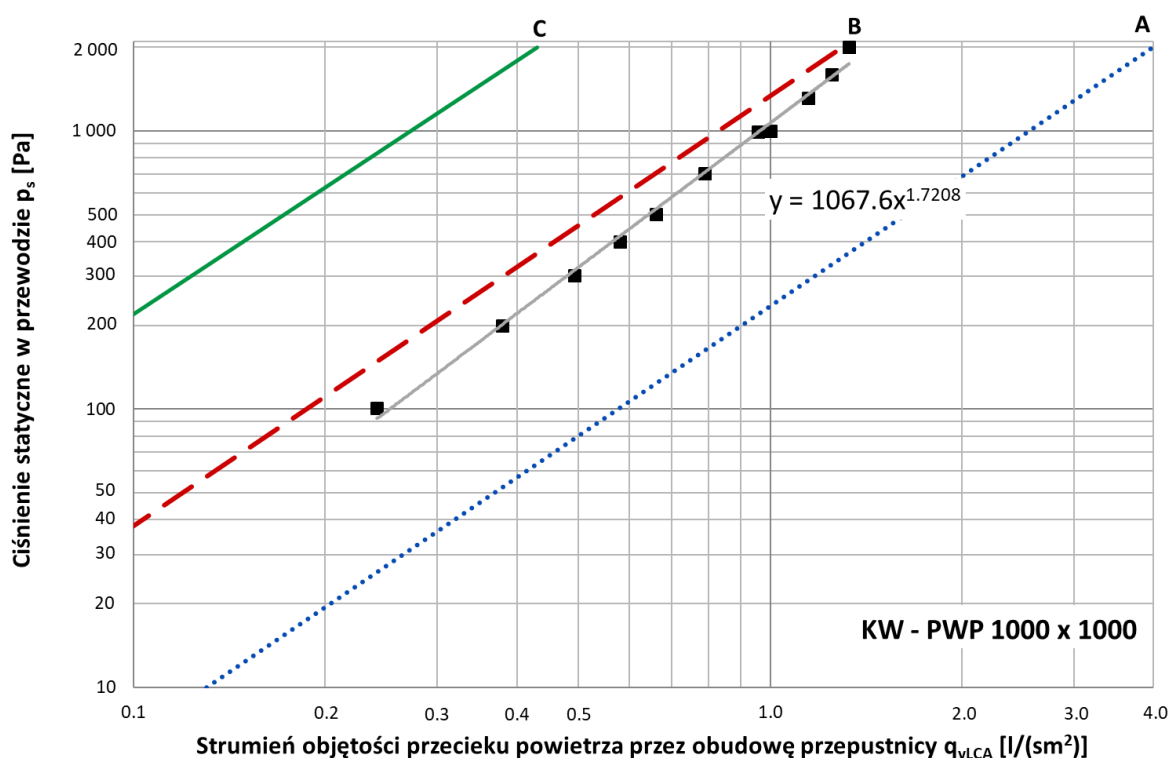


### Przepustnica KW-PWP, 1000 x 1000

Wyniki pomiarów przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy podano w tabeli 9 oraz na rysunku 7.

Tabela 9. Wyniki obliczeń przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy KW-PWP, 1000 x 1000 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.2°C, wilgotność względna powietrza 34% i ciśnienie atmosferyczne 97.16 kPa

Lp.	Kryza pomiarowa	Ciśnienie różnicowe na kryzie	Ciśnienie statyczne w przewodzie na dopływie do kształtki	Strumień objętości przecieku powietrza	Niepewność strumienia objętości przecieku powietrza	Linia trendu
		$\Delta p$	$p_s$	$q_{VLCA}$	$\Delta q_{VLCA}$	
		Pa	Pa	l/(s m <sup>2</sup> )	l/(s m <sup>2</sup> )	
1	K1	533	101	0.2412	0.0005	$p_s = 1067.6 q_{VLCA}^{1.7208}$
2	K1	1327	199	0.3795	0.0008	
3	K1	2243	303	0.492	0.001	
4	K1	3145	400	0.580	0.001	
5	K1	4108	502	0.661	0.001	
6	K1	5922	703	0.788	0.002	
7	K2	38.8	992	0.957	0.002	
8	K2	42.7	997	1.002	0.002	
9	K2	56.2	1315	1.147	0.002	
10	K2	66.9	1600	1.251	0.003	
11	K2	75.7	2006	1.330	0.003	



Rys. 7. Wykres przecieku powietrza przez obudowę przepustnicy KW-PWP, 1000 x 1000 przy warunkach: temperatura otoczenia 22.2°C, wilgotność względna powietrza 34% i ciśnienie atmosferyczne 97.16 kPa

Na podstawie wykonanych badań i przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że **badany egzemplarz przepustnicy KW-PWP, 1000 x 1000 o wymiarach wewnętrznych 1000 mm x 1000 mm spełnia wymagania klasy A szczelności obudowy**. Wyniki pomiarów i obliczeń objętościowego strumienia przecieku powietrza przez obudowę z uwzględnieniem pasma ochronnego U95 znajdują się w strefie akceptacji dla klasy A. Ryzyko błędnej akceptacji wynosi poniżej 2.5%.

### Podsumowanie wyników badań szczelności obudowy przepustnic

Wyniki badań szczelności obudowy przepustnic zebrano w tabeli 10, gdzie podano klasy szczelności obudowy, jakie spełnia dana przepustnica.

Tab. 10. Podsumowanie klas szczelności zamknięcia przepustnic

Przepustnica	Klasa szczelności obudowy
KW-PWP, 400 x 400	A
KW-PWP, 1000 x 500	B
KW-PWP, 1000 x 1000	A

Na podstawie wyników z powyższej tabeli można przenieść wyniki pomiarów i obliczeń na cały typoszereg przepustnic i można stwierdzić, że przepustnice KW-PWP w zakresie swego typoszeregu spełniają wymagania klasy A szczelności obudowy. Wyjątek stanowi przepustnica o wymiarach 1000 x 500, która spełnia wymagania szczelności obudowy klasy B.

### 3.3. Badanie charakterystyki aerodynamicznej / Flow rate and pressure tests

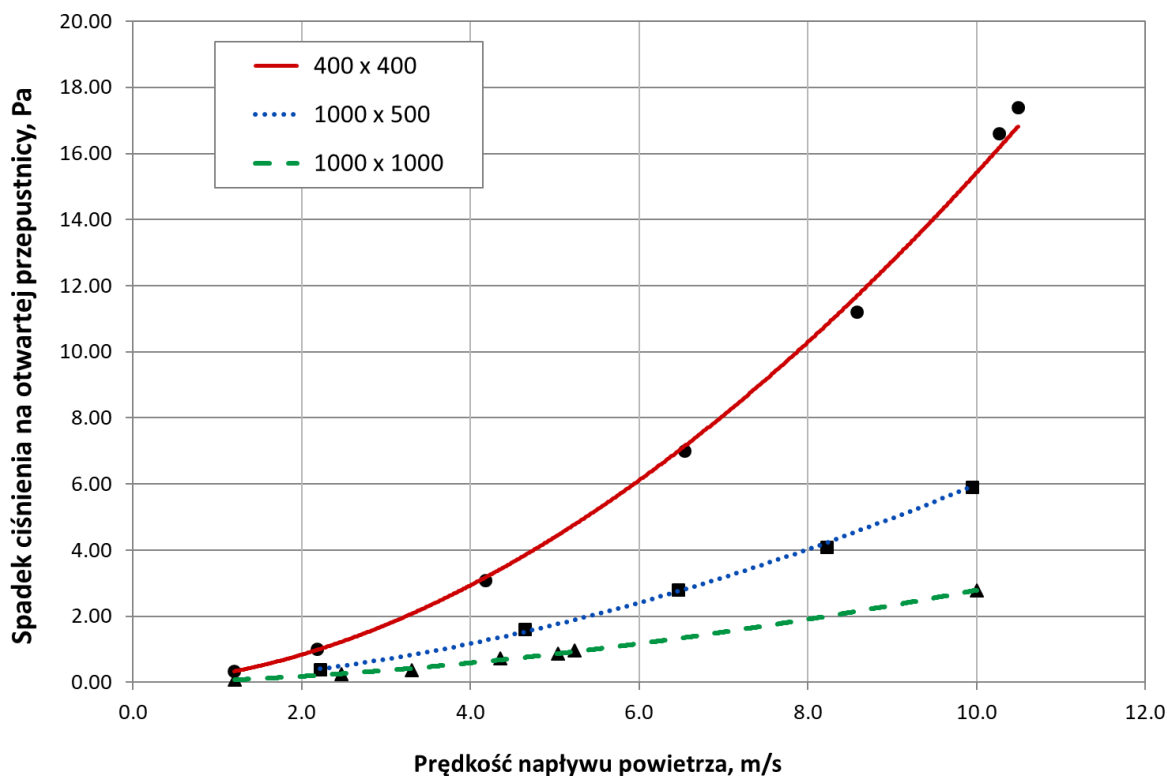
Charakterystykę aerodynamiczną przepustnic wykonano mierząc spadek ciśnienia dla różnych przepływów przez całkowicie otwarte przepustnice. Przepływy miały zakres od małych do większych wartości, przy czym największe przepływy odpowiadały prędkości 10 m/s przy przepustnicach o wymiarach 400 mm x 400 mm oraz 1000 mm x 500 mm, natomiast prędkości 5 m/s przy przepustnicy 1000 mm x 1000 mm.

W tabeli 11 podano wyniki pomiarów aerodynamicznych przez otwarte przepustnice KW-PWP.

Tab. 11. Wyniki pomiarów aerodynamicznych przepustnic KW-PWP

Przepustnica Warunki otoczenia	Temperatura powietrza, °C	Strumień przepływu, m <sup>3</sup> /h	Niepewność strumienia przepływu, m <sup>3</sup> /h	Prędkość napływu powietrza na przepustnicę, m/s	Spadek ciśnienia na otwartej przepustnicy, Pa
400x400  Ciśn. atm. 98.60 kPa, Wilgotn. bezwz. 29%. Temp. otocz. 23.3°C	23.2	1249	25	2.18	1.00
	23.2	2392	48	4.17	3.10
	23.3	3748	75	6.54	7.00
	23.3	4922	98	8.59	11.20
	23.3	5886	118	10.27	16.60
	23.3	6016	120	10.50	17.40
1000x500  Ciśn. atm. 98.30 kPa, Wilgotn. bezwz. 33%. Temp. otocz. 23.3°C	23.2	4004	80	2.22	0.4
	23.2	8394	168	4.66	1.6
	23.3	11680	234	6.49	2.8
	23.3	14858	297	8.25	4.1
	23.3	17978	360	9.99	5.9
1000x1000  Ciśn. atm. 99.74 kPa, Wilgotn. bezwz. 21%. Temp. otocz. 23.3°C	23.2	4351	87	1.21	0.08
	23.2	8940	179	2.49	0.25
	23.3	11969	239	3.34	0.37
	23.3	15379	308	4.39	0.73
	23.3	17978	360	5.08	0.88
	23.3	18765	375	5.28	0.97

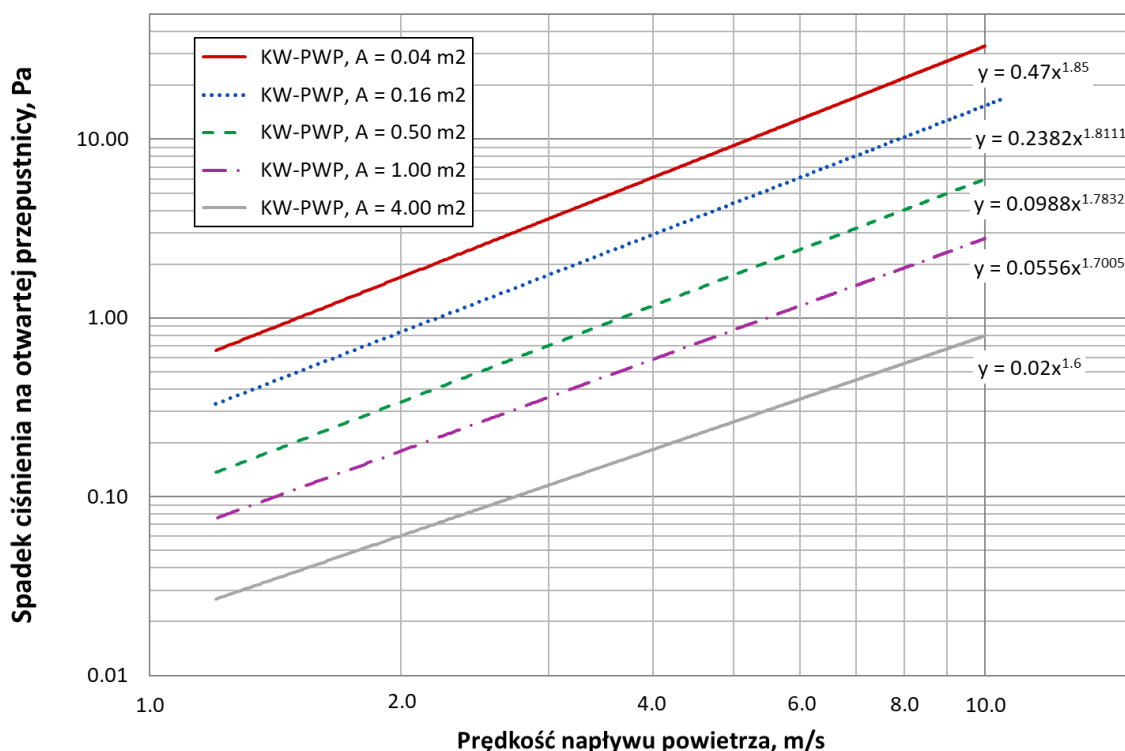
Na rysunku 8 podano charakterystyki aerodynamiczne (spadek ciśnienia na przepustnicy w funkcji prędkości napływu powietrza) przy przepływie przez trzy otwarte przepustnice typu KW-PWP. Dla przepustnicy o wymiarach 1000 mm x 1000 mm wartość spadku ciśnienia dla prędkości 10 m/s została otrzymana na zasadzie ekstrapolacji.



Rys. 8. Charakterystyki aerodynamiczne przy przepływie przez otwarte przepustnice typu KW-PWP

### Podsumowanie wyników badań aerodynamicznych przepustnic

Na podstawie wykonanych pomiarów stwierdzono, że wyniki pomiarów charakterystyk aerodynamicznych otwartych przepustnic (zależności prędkości powietrza od spadku ciśnienia) można przenieść na cały typoszereg w zależności od pola powierzchni prześwitu przepustnic. Dodatkowo rozszerzono więc na zasadzie wprowadzenia potęgowych linii trendu charakterystyki aerodynamiczne dla otwartych przepustnic z typoszeregu KW-PWP. Opracowane wykresy w skali logarymicznej podano na rysunku 9. Wykresy należy interpretować dla przepustnic o danych powierzchniach. Dla przepustnic o innych polach przekroju należy brać wartości pośrednie.



Rys. 9. Charakterystyki aerodynamiczne przy przepływie przez otwarte przepustnice typu KW-PWP dla wybranych powierzchni prześwitu

Na podstawie wykonanych wykresów można stwierdzić, że dla przepustnic o powierzchniach prześwitu większych lub równych 1 m<sup>2</sup> można przyjmować, iż spadek ciśnienia przy prędkościach 10 m/s przy otwartych przepustnicach nie jest większy niż 3 Pa.

### 3.4. Badanie momentu obrotowego / Torque measurements

Pomiar momentu obrotowego odbywał się w dwóch etapach. Po pierwsze mierzony był moment obrotowy potrzebny do rozpoczęcia zamykania całkowicie otwartej przepustnicy przy przepływie powietrza o strumieniu maksymalnym odpowiadającym prędkości napływu równej 10 m/s dla przepustnic o wymiarach 400 mm x 400 mm oraz 1000 mm x 500 mm a także przy przepływie powietrza o strumieniu odpowiadającym prędkości napływu równej 5 m/s dla przepustnicy o wymiarach 1000 mm x 1000 mm. W drugim etapie mierzono moment obrotowy niezbędny do rozpoczęcia otwierania całkowicie zamkniętej przepustnicy niepoddanej ciśnieniu oraz poddanej ciśnieniu 0,8 p<sub>max</sub>, czyli ciśnieniu około 1600 Pa.

Wyniki pomiarów momentów obrotowych dla przepustnic KW-PWP zamieszczono w tabeli 12. Warunki otoczenia podczas pomiarów: temperatura otoczenia 22.3°C, wilgotność względna powietrza 33% i ciśnienie atmosferyczne 97.50 kPa.

Tab. 12. Wyniki pomiarów momentu obrotowego przepustnic KW-PWP

	Przepustnica		
	400 x 400	1000 x 500	1000 x 1000
Moment obrotowy, Nm, niezbędny do rozpoczęcia zamykania otwartej przepustnicy przy przepływie odpowiadającym prędkości 10 m/s dla przepustnic o wymiarach 400 mm x 400 mm oraz 1000 mm x 500 mm oraz prędkości 5 m/s dla przepustnicy o wymiarach 1000 mm x 1000 mm	7.50	7.02	7.02
Moment obrotowy niezbędny do rozpoczęcia otwierania zamkniętej przepustnicy niepoddanej ciśnieniu, Nm	7.90	13.59	11.67
Moment obrotowy niezbędny do rozpoczęcia otwierania zamkniętej przepustnicy poddanej ciśnieniu 1600 Pa, Nm	10.40	20.77	23.83
Moment obrotowy niezbędny do zamknięcia otwartej przepustnicy do uzyskania po zamknięciu ciśnienia 1600 Pa, Nm	10.30	14.05	19.73
Maksymalny moment obrotowy (otwieranie lub zamykanie), Nm	10.40	20.77	23.83

#### Podsumowanie wyników badań momentów obrotowych / Summary of torque measurements

Wyniki badań maksymalnych momentów obrotowych niezbędnych do zamykania lub otwierania przepustnic zebrano w tabeli 13. W tabeli zostały dodane wartości maksymalnych momentów obrotowych dla przepustnic niemierzonych z typoszeregu (200 x 200 oraz 2000 x 2000) otrzymane na zasadzie ekstrapolacji wyników zmierzonych przepustnic. Wartości te oznaczone są symbolem \*.

Tab. 13. Podsumowanie wyników pomiarów momentów obrotowych

Przepustnica	Maksymalny moment obrotowy (otwieranie lub zamykanie), Nm
KW-PWP, 200 x 200	4.50 *
KW-PWP, 400 x 400	10.40
KW-PWP, 1000 x 500	20.77
KW-PWP, 1000 x 1000	23.83
KW-PWP, 2000 x 2000	30.00 *

#### 4. **Opinia / Opinion**

Na zlecenie firmy Klima-Went Sp. z o.o. w Laboratorium Inżynierii Ciepłej Politechniki Krakowskiej badano trzy przepustnice wielopłaszczyznowe o przekroju prostokątnym z typoszeregu KW-PWP. Badania wykonano zgodnie z normą PN-EN 1751:2014-03 *Wentylacja budynków - Urządzenia wentylacyjne końcowe - Badania aerodynamiczne przepustnic regulacyjnych i zamykających*.

Celem badań było:

- określenie klasy szczelności zamknięcia przepustnic (przecieku powietrza przez zamknięte przepustnice),
- określenie klasy szczelności obudowy przepustnic (przecieku powietrza na obudowach przepustnic),
- sporządzenie charakterystyk aerodynamicznych dla otwartych przepustnic,
- określenie maksymalnych momentów obrotowych przy otwieraniu/zamykaniu przepustnic.

Po wykonaniu pomiarów oraz obliczeń i wykreśleniu charakterystyk przecieku powietrza stwierdzono, że przepustnice w typoszeregu KW-PWP w zakresie szczelności zamknięcia spełniają wymagania klasy 1 w wymiarach od 200 x 200 do 400 x 400, natomiast dla większych wymiarów spełniają wymagania klasy 2. Stwierdzono również, że przepustnice w typoszeregu KW-PWP w zakresie szczelności obudowy spełniają wymagania klasy A, wyjątek stanowi przepustnica o wymiarach 500 x 1000, która spełnia wymagania klasy B. Wyniki pomiarów i obliczeń objętościowego strumienia przecieku powietrza uwzględniają pasmo ochronne U95, zaś ryzyko błędnej akceptacji wynosi poniżej 2.5%.

Charakterystyki aerodynamiczne dla typoszeregu KW-PWP podano w podsumowaniu rozdziału 3.4, zaś maksymalne momenty obrotowe w podsumowaniu rozdziału 3.4.

Należy dodać, że wyniki pomiarów dotyczą obiektów takich samych jak badane próbki.

Uwaga: Sprawozdanie z badań nie powinno być powielane inaczej niż w całości bez pisemnej zgody laboratorium.

Autor sprawozdania / Author:  
dr hab. inż. Agnieszka Lechowska, prof. PK

Autoryzował / Authorized:  
prof. dr hab. inż. Jacek Schnotale

Data, podpis

Data, podpis

KONIEC SPRAWOZDANIA Z BADAŃ