

Badania bilansowe wentylatorów dla określenia wskaźników wymaganych rozporządzeniem Komisji (UE) NR 1253/2014

Siwek Tomasz*, Kalawa Wojciech*, Kłaczyński Maciej**, Cioch Witold**

** Katedra Maszyn Ciepłych i Przepływowych*

Wydział Energetyki i Paliw

AGH Kraków

*** Katedra Mechaniki i Wibroakustyki*

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

AGH Kraków

Streszczenie:

Konieczność certyfikowania wyrobów w odniesieniu do ram prawnych dotyczących ekoprojektu dla systemów wentylacyjnych (rozporządzenie KE UE nr 1253 i 1254/2014) wymusza na producentach prowadzenie badań wentylatorów, celem określenia wymaganych wskaźników energetycznych. Rozporządzenie nie podaje metodyki badania systemów wentylacyjnych i ich podzespołów, co może prowadzić do błędów i nadużyć w określeniu wartości tych wskaźników. W niniejszym artykule przedstawiono przykładową procedurę badania wentylatora w zakresie bilansu energetycznego i masowego, prowadzoną dla celów certyfikowania systemu wentylacji mieszkaniowej. Metodykę opracowano w oparciu o zalecenia EVIA (European Ventilation Industry Association) i Eurovent (Europe's Industry Association for Indoor Climate, Process Cooling, and Food Cold Chain Technologies).

Kluczowe słowa:

certyfikacja, wentylatory, systemy wentylacyjne, badania przepływowe, wskaźniki energetyczne

Kontekst prawny

Nieustanny rozwój gospodarczy społeczeństw pociąga za sobą coraz większą konsumpcję energii pierwotnej, a produkcja energii elektrycznej na mieszkańca stała się jednym ze wskaźników postępu gospodarczego kraju. Z drugiej strony, świadomość ekologiczna i ekonomiczna wymusza redukowanie energochłonnych procesów, bądź ich optymalizację w celu racjonalizacji wykorzystania źródeł energii. W obszarze realizacji założeń zrównoważonego rozwoju, nie tylko rynek energii elektrycznej stał się rynkiem kontrolowanym, ale i energochłonne elementy infrastruktury energetycznej (urządzenia, systemy) zostają poddane zewnętrznemu nadzorowi. Wiąże się to z wprowadzaniem aktów

prawnych, wymuszających na producentach i użytkownikach stosowanie rozwiązań o wyższych wskaźnikach energetycznych, umożliwiających ograniczenie konsumpcji energii pierwotnej.

W następstwie protokołu z Kioto, Unia Europejska poprzez przyjęcie Pakietu Energetyczno-Klimatycznego 3x20, zobowiązała się między innymi do redukcji o 20% emisji gazów cieplarnianych i zwiększenia efektywności energetycznej o tą samą wartość procentową. Aby zrealizować ten cel klimatyczny UE przyjęła pierwotnie w 2005 roku Dyrektywę EuP ustanawiającą ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących projektowania dla produktów wykorzystujących energię. Następnie w 2009 roku przyjęła Dyrektywę ErP nazywaną potocznie „ekoprojektem”.

Problem energochłonności systemów wentylacyjnych i samych wentylatorów wskazany był w wielu międzynarodowych raportach i publikacjach [1,2,3,5]. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest objęcie odpowiednimi przepisami uszczegółowiającymi producentów i użytkowników z branży HVAC i pokrewnych. Pewien brak właściwego uporządkowania i metodyki kwalifikacji podzespołów doprowadził do tego, że aktualnie producenci systemów wentylacyjnych muszą stosować się do czterech Rozporządzeń równocześnie, tj. WE 640/2009 dotyczącego silników elektrycznych, WE 327/2011 dotyczące wentylatorów oraz 1253/2014 urządzeń i systemów wentylacyjnych wraz z etykietowaniem regulowanym przez 1254/2014.

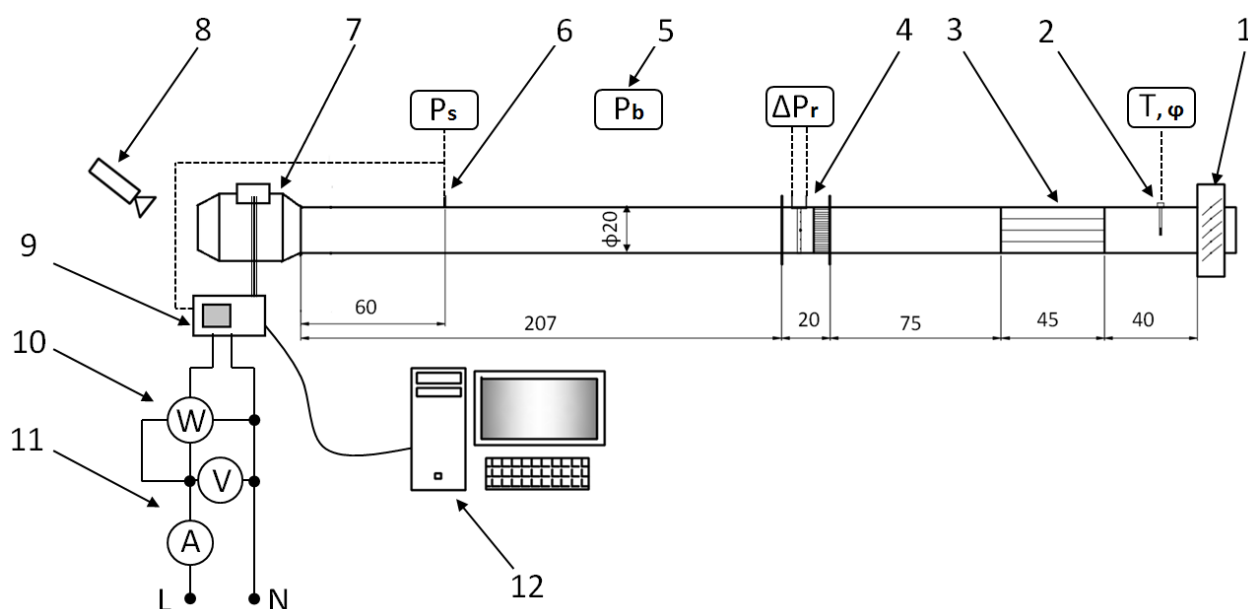
Według dwóch pierwszych rozporządzeń dotyczących silników i wentylatorów regulowany jest minimalny poziom sprawności dla silników o mocy $\geq 0,75\text{kW}$, ale dla wentylatorów już od mocy $\geq 125\text{W}$. W ostatnich rozporządzeniach dla urządzeń i systemów wentylacyjnych poziom mocy stosowalności przepisów został obniżony do zaledwie 30W. Jako kryterium oceny efektywności energetycznej wprowadzono jednostkowe zużycie energii JZE dla systemów wentylacji mieszkaniowej SWM, natomiast dla systemów wentylacji niemieszkaniowej SWNM w zakresie wentylatora obowiązują dwa parametry energetyczne tj. maksymalna wewnętrzna jednostkowa moc wentylatora części pełniących funkcje wentylacyjne JMW_{int} i minimalna sprawność wentylatora. Poziom minimalnej sprawności dla wentylatorów regulowany rozporządzeniem WE 327/2011 i 1253/2014 może się różnić, co jest konsekwencją wprowadzonych definicji sprawności, bądź ich interpretacją.

W kolejnych rozdziałach przeprowadzono ocenę energetyczną przykładowego wentylatora dedykowanego do SWM i SWNM według obowiązujących przepisów. Pokazano również procedurę badawczą wraz z schematem i opisem stanowiska.

Stanowisko badawcze

Do oceny efektywności energetycznej wentylatora, a następnie SWM lub SWNM zgodnie z obowiązującymi przepisami, konieczne jest przeprowadzanie bilansowych badań energii. W rozporządzeniach brak jest informacji na temat metodyki badań, zawarte jest natomiast sformułowanie, że „do pomiarów parametrów produktu i odnośnych obliczeń należy stosować niezawodne, dokładne i odtwarzalne procedury uwzględniające najnowsze uznane metody pomiarów i obliczeń, w tym — o ile są dostępne — ujednolicone normy przyjęte przez europejskie organy normalizacyjne na wniosek Komisji”. Aby określić parametry pracy wentylatora zdefiniowane w rozporządzeniach, konieczne jest wyznaczenie

charakterystyk pracy (przepływowych). W tym celu, stanowisko badawcze przygotowano w oparciu o normę PN-EN ISO 5801:2008. Stanowisko badawcze typu C – rurociąg pomiarowy zainstalowany jest po stronie ssawnej badanego wentylatora. Schemat stanowiska odpowiadający przykładowemu wentylatorowi kanałowemu o średnicy przyłączeniowej $D=200\text{mm}$ zaprezentowano na rysunku 1.



Rys.1. Stanowisko przepływowe do badań bilansowych wentylatorów w Katedrze Maszyn Ciepłych i Przepływowych AGH

Zgodnie z numeracją, na wlocie do rurociągu pomiarowego zainstalowano przepustnicę żaluzjową odpowiedzialną za dławienie przepływu (1), kolejnym elementem jest termohigrometr Delta Ohm model HD48T (2) – pomiar temperatury i wilgotności powietrza. Celem ujednolicenia profilu prędkości, za przepustnicą zainstalowano prostownicę strumienia (3). Do pomiaru przepływu powietrza użyto, zestawu pomiarowego złożonego z elementu spiętrzającego STRA Dwyer (4), uśredniającego profil ciśnienia dynamicznego w przewodzie i ciśnieniomierza różnicowego Halstrup Walher P26. W odległości 3 średnic przed wlotem do wentylatora wyprowadzono impuls ciśnienia statycznego do ciśnieniomierza Delta Ohm model HD404T. Wentylator (7) w zależności od prowadzonych badań zasilany może być w (9) trzech konfiguracjach sterowania:

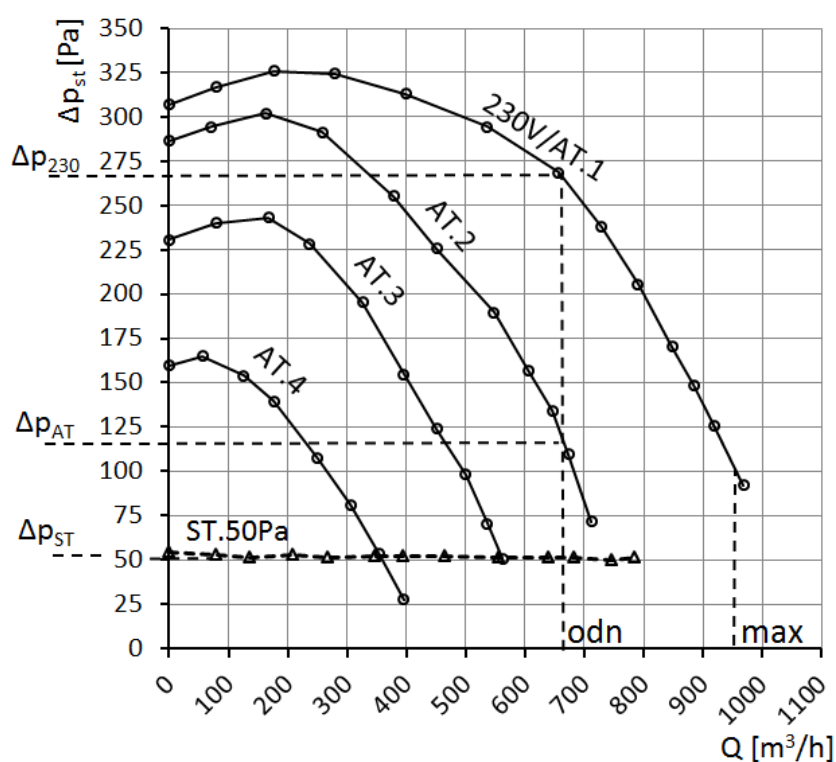
1. sterowanie za pomocą transformatorowego sterownika obrotów – „n” biegów przełączanych ręcznie w miejscu zainstalowania,
2. sterowanie automatyczne za pomocą sterownika elektronicznego – płynna regulacja pracy wentylatora na podstawie impulsu ciśnienia statycznego pobieranego na ssaniu wentylatora w punkcie (6),
3. sterowanie za pomocą sterownika zintegrowanego z komputerem (12) – nastawy zgodne z wytycznymi projektanta systemu wentylacyjnego.

Obroty mierzone są tachometrem optoelektronicznym Sentry ST723 (7) zainstalowanym na statywie za wentylatorem. Analizę zasilania elektrycznego układu tzn. pomiary mocy

czynnej, biernej i pozornej oraz prądu i napięcia dokonano po stronie sieci przed sterownikiem/autotransformatorem. Do pomiaru mocy czynnej wykorzystano watomierz Lumel n30p (10). Pozostałe parametry elektryczne (w tym prąd i napięcie) badano analizatorem sieci Fluke 1736 (11). W zakresie parametrów elektrycznych badane i rejestrowane są również parametry takie jak, widmo sygnału (prądu/napięcia), oscylogramy, kąty fazowe, skoki i spadki napięcia oraz przebieg prądu rozruchowego.

Wyniki pomiarów i obliczeń

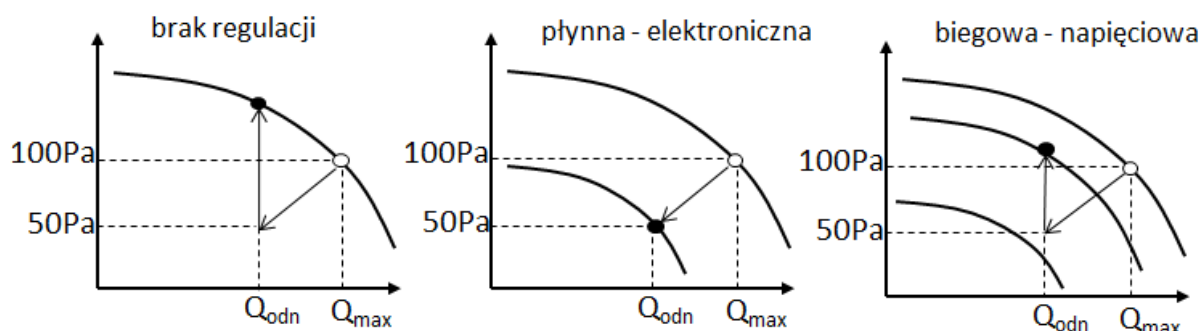
Na podstawie wyników przeprowadzonych eksperymentów stanowiskowych wyznaczone zostały charakterystyki pracy przykładowego wentylatora z różnymi układami sterowania. Rozpatrywano trzy przypadki, tj. brak sterownia obrotami – zasilanie bezpośrednio z sieci (oznaczenie 230V), sterowanie poprzez zmianę napięcia – zasilanie ze sterownika transformatorowego (oznaczenie AT, cyfra = biegi transformatora) oraz sterownikiem elektronicznym o płynnej regulacji obrotów (oznaczenie ST). Na rysunku 2 pokazano zależność przyrostu ciśnienia statycznego od wydajności.



Rys.2. Przyrost ciśnienia statycznego w funkcji wydajności

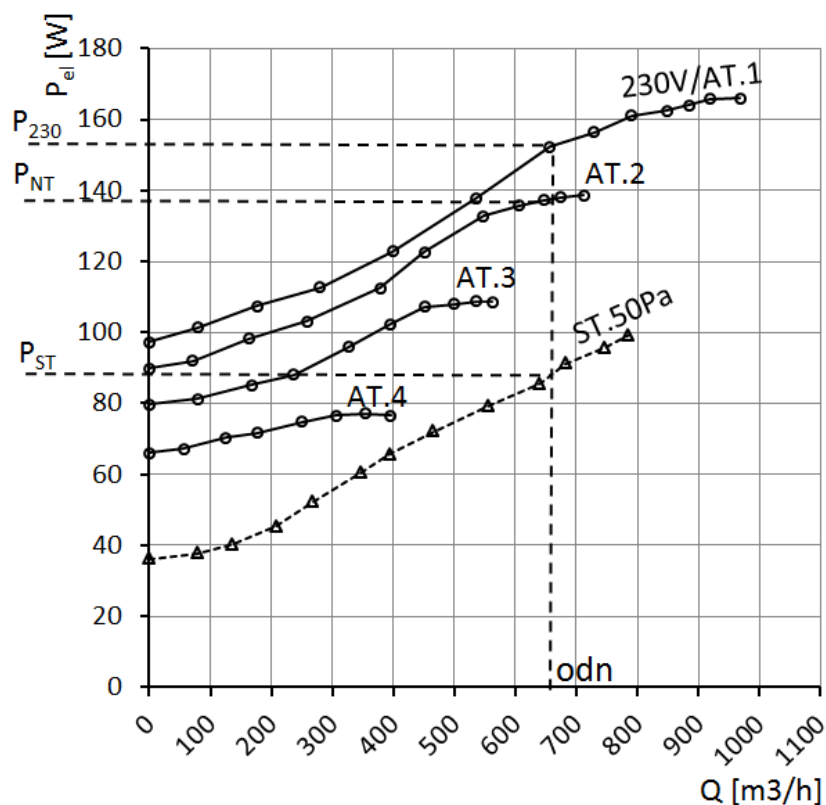
Dla określenia wskaźników energetycznych wymaganych rozporządzeniem 1253/2014 w oparciu o wykres $\Delta p_{st} = f(Q)$ definiowane są dwa charakterystyczne punkty. Maksymalna wartość natężenia przepływu Q_{max} , która dla badanego wentylatora/systemu wentylacyjnego zdefiniowana jest jako objęściowe maksymalne natężenie przepływu dla przyrostu ciśnienia równego 100Pa. Dla każdego z rozpatrywanych systemów sterowania w badanym wentylatorze wartość ta będzie wynosiła 95m³/h. Maksymalna wartość natężenia przepływu jest podstawą do wyznaczenia natężenia przepływu strumienia odniesienia Q_{odn} . Natężenie

przepływu strumienia odniesienia (wyrażone w m^3/s) to wartość punktu na krzywej dławienia, który znajduje się w punkcie lub najbliższym punkcie odniesienia przy co najmniej $0,7Q_{\max}$ i ciśnieniu 50Pa. Należy zwrócić uwagę, że punkt odniesienia zawsze odkładamy na krzywej dławienia możliwej do osiągnięcia w danym systemie sterowania powyżej punktu lub w punkcie o współrzędnych $[0,7Q_{\max}$ i 50Pa], co pokazano na rysunku 3. Postępowanie to jest rekomendowane i uzasadniane w opracowaniu wydanym przez EVIA [8].



Rys.3. Identyfikacja punktu odniesienia zalecana przez EVIA [8]

Natężenie przepływu strumienia odniesienia dla badanego wentylatora wynosi $0,185 \text{ m}^3/\text{s}$. Z kolei wartość ciśnienia w punkcie odniesienia jest zależna od systemu sterowania, co wskazano na rysunku 2. Na podstawie punktów odniesienia określona zostaje efektywna moc wejściowa dla wentylatora z danym systemem sterowania, procedurę tą pokazano na rysunku 4. Wyznaczone wartości mocy, podzielone przez natężenie strumienia odniesienia dają wartość określoną według obowiązującego rozporządzenia jako jednostkowy pobór mocy JPM.



Rys.4. Moc elektryczna czynna w funkcji wydajności

Na tym etapie procedury możliwy jest do określenia jeden z najważniejszych wskaźników energetycznych tj. jednostkowe zużycie energii JZE, którego wartość warunkuje dopuszczenie systemu do obrotu bądź użytkowania. Wskaźnik ten jest określany dla SWM i zgodnie z rozporządzeniem 1254/2014 jest podstawą do nadawania klas energetycznych, a jego wartość od roku 2016 nie może przekroczyć 0 kWh/(m²/rok), a od roku 2018 -20 kWh/(m²/rok). Dla wyznaczenia JZE przyjęto, że wentylator pracuje w jednokierunkowym systemie wentylacyjnym JSW bez odzysku ciepła i odszraniania. Szczegółowe wartości przyjętych do obliczeń współczynników zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości parametrów przyjętych do określenia JZE zgodnie z KE 1253/2014

Wielkość	Oznac.	Wartość	Jednostka
Liczba godzin pracy na rok	t_a	8760	h/rok
Wskaźnik energii pierwotnej	p_{ef}	2,5	-
Stopień zapotrzebowania netto na wentylację	q_{net}	1,3	m ³ /h/m ²
Ogólny skonsolidowany wskaźnik	$MISC$	1,1	-
Wykładnik (nieliniowość stosunku oszczędności energii)	x	2	-
Liczba godzin w sezonie grzewczym	t_h	5112	h
Średnia wartość różnicy temperatur	ΔT_h	9,5	K
Średnia efektywność energetyczną ogrzewania	η_h	0,75	-
Jednostkowa wydajność grzewczą powietrza	c_{air}	0,000344	kWh/(m ³ K)
Referencyjny stopień naturalnej wentylacji	q_{ref}	2,2	(m ³ /h)/m ²
Sprawność cieplna układu odzysku ciepła	η_t	0	-
Ilość energii grzewczej zużywanej rocznie do odszraniania	Q_{def}	0,000	kWh/m ² /rok

Wartości JZE policzono dla trzech systemów sterowania i zestawiono w tabeli 2 wraz z innymi określającymi wielkościami. Na ich podstawie dokonano oceny zgodności i kwalifikacji do danej klasy energetycznej. W tabeli 2 zestawiono również wartości sprawności wentylatora, które musi osiągać według obowiązujących rozporządzeń. Dodatkowo na rysunku 5 zamieszczono krzywe sprawności dla każdego z systemów sterowania i ich badanych nastaw. W normalnych warunkach pracy, przy znamionowych obrotach badany wentylator osiąga maksymalną sprawność równą 33%. Sprawność tą należy skorygować zgodnie z WE 327/2011, ale tylko dla elektronicznego systemu sterowania obrotami. Według tego rozporządzenia, sprawność ogólna definiowana dla rozpatrywanego przypadku JSW jest dana równaniem (1):

$$\eta_e = \frac{P_{US}}{P_{ed}} \cdot C_c \quad (1)$$

Gdzie:

P_{US} – moc użyteczna statyczna wentylatora,

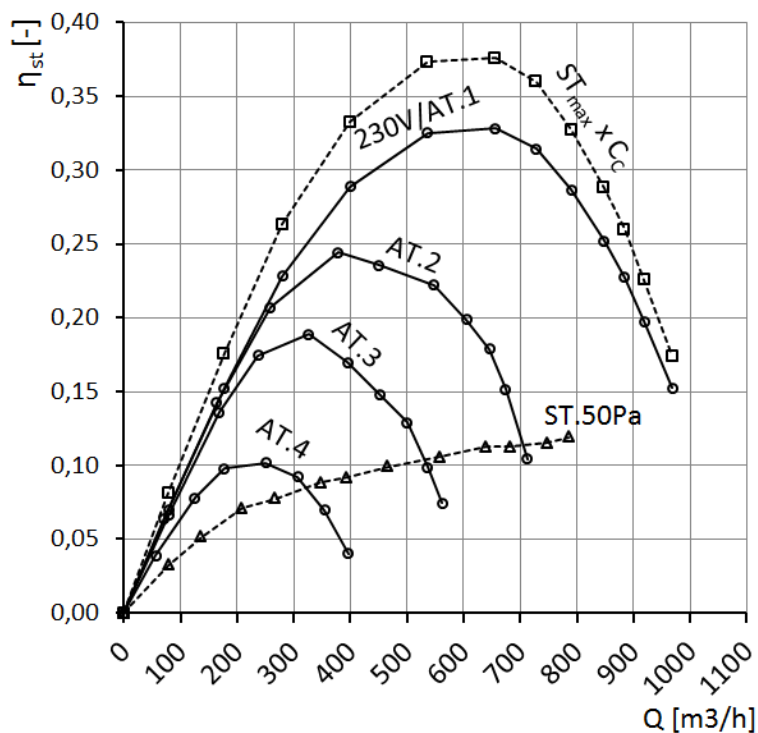
P_{ed} – moc elektryczna pobrana przez wentylator i system sterowania przy optimum sprawności,

C_c – współczynnik kompensacji obciążenia częściowego, obliczany równaniem (2)

$$C_c = -0,03 \cdot \ln(P_e) + 1,088 \quad (2)$$

Należy pamiętać, że moc w równaniu (2) podstawimy w KW.

Skorygowaną wartość, dla porównania wpływu rodzaju sterowania na sprawność wentylatora, naniesiono na wykres z rysunku 5. Formalny zabieg, przewidziany przez rozporządzenie, powoduje wzrost sprawności o około 5 punktów procentowych, z 33% na 38%.



Rys.5. Sprawność ogólna w funkcji wydajności

W tabeli 2 dokonano zbiorczego podsumowania uzyskanych wyników pomiarowych i obliczeniowych z uwzględnieniem rodzaju sterowania. W tabeli 3 zestawiono wartości wymagane dla wskaźników w zależności od roku wprowadzenia produktu i jego przeznaczenia. Do obliczeń przyjęto wartość znamionowego poboru mocy dla punktu optymalnego, przy nominalnych obrotach wirnika, tj. $P = 0,153 \text{ kW}$.

Wartości zebrane w tabeli 2 limitują deklarację zgodności dokonywaną przez producenta. Dodatkowo SWM muszą posiadać etykietę energetyczną z zadeklarowaną klasą, która jest zależna od wartości jednostkowego zużycie energii JZE.

Tabela 2. Parametry określone w oparciu o obowiązujące rozporządzenia

Wielkość	Jednostka	Rodzaj sterowania		
		Brak	AT	ST
Maksymalna wartość natężenia przepływu $Q_{\max}$	m^3/h	950		
Moc czynna przy $Q_{\max}$	W	166		
Natężenie przepływu strumienia odniesienia Q_{odn}	m^3/s	0,185		
Wartość odniesienia różnicy ciśnienia Δp_{odn}	Pa	268	115	50
Efektywna moc wejściowa P_{el} dla Q_{odn}	W	153	137	88
Czynnik rodzaju sterowania	-	1	1	0,65
Jednostkowy pobór mocy JPM	$\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$	0,230	0,206	0,132
Jednostkowe zużycie energii JZE	$\text{kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$	-9,9	-10,7	-26,5
Sprawność ogólna	%	33	33	38

Tabela 3. Wybrane limity dla SWM i SWNM w badanej konfiguracji JSW

Wielkość/wymóg	Jednostka	Dokument	Rok	Przeznaczenie	
				SWM	SWNM
Jednostkowe zużycie energii JZE	$\text{kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$	1253/2014	2016	≤ 0	ND*
		1254/2014	2018	≤ -20	ND
Minimalna sprawność wentylatora	%	1253/2014	2016	ND	$\geq 23,4$
			2018	ND	$\geq 30,4$
		327/2011	2013	$\geq 27,9$	$\geq 27,9$
			2015	$\geq 30,9$	$\geq 30,9$
Maksymalna wewnętrzna jednostkowa moc wentylatora części pełniącej funkcje wentylacyjne JMW	$\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$	1253/2014	2016	ND	250
		1253/2014	2018	ND	230
Regulacja obrotów	-	1253/2014	2016	TAK	TAK

*ND – nie dotyczy

Podsumowanie i wnioski

Analizując otrzymane wyniki, możemy dokonać deklaracji zgodności dla pewnych zastosowań i w danym okresie czasu. Do roku 2018, dwa systemy sterowania spełniają warunki minimalne, określone przez obowiązujące rozporządzenia. System sterowania oparty o dławienie przepływu (brak sterowania obrotami, 230V), pomimo, że osiąga wymagane limity wskaźników, nie może być wdrożony do obiegu lub użytkowania ze względu na brak możliwości zmiany obrotów. Systemy oparte o sterowniki elektroniczne obrotów, działające na podstawie pomiar ciśnienia, wilgotności czy CO₂, zyskują na ocenie energetycznej ze względu na współczynniki korygujące pozytywnie sprawność wentylatora, a także poprzez „idealne” dopasowanie do definiowanego punktu odniesienia ($0,7Q_{\max}$ i 50Pa). W sterownikach wielobiegowych (np. transformatorowych) konieczne jest wybieranie parametrów na krzywej leżącej powyżej ciśnienia 50Pa, co powoduje pogorszenie wskaźników energetycznych. Po roku 2018 tylko system sterowania oparty o elektroniczny przetwornik zapewnia możliwość dalszego oferowania badanego wentylatora w SWM,

sklasyfikowanego w klasie energetycznej E ($-20 \leq JZE < -10$). Dwie najniższe klasy energetyczne F i G, w których znajdują się pozostałe badane systemy będą wycofane.

Podsumowując, bardzo duży wpływ na osiągnięte wskaźniki, w szczególności klasę energetyczną w SWM, ma nie tylko zużycie energii elektrycznej czy stosowanie rekuperatorów w celu odzysku ciepła, ale istotną rolę odgrywa czynnik rodzaju sterowania i może być kluczowy w dopuszczeniu produktu do obrotu. System wentylacyjny na tym samym wentylatorze, tylko ze względu na stosowanie sterowania według zapotrzebowania, może osiągnąć lepszą klasę energetyczną, niż przy sterowaniu czasowym lub ręcznym.

Pomimo uciążliwości procedury obliczeniowej i licznych niejasności, idea nadzorowania rynku wentylacyjnego jest słuszna i jak najbardziej sprzyja zrównoważonemu rozwojowi. Etykieta energetyczna na produkcie zawiera informacje pozwalające dokonać bardziej świadomego wyboru. Problemem zasadniczym pozostaje kontrola rynku, a właściwie jej brak.

Literatura:

1. Waide P., Brunner C.; Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems, International Energy Agency, Paryż 2011r.
2. UNIDO United Nations Industrial Development Organization; Motor Systems Efficiency Supply Curves, 2010r.
3. Sathaye N., Phadke A., Shah N., Letschert V.; Potential Global Benefits of Improved Ceiling Fan Energy Efficiency, Clean Energy Ministerial, 2013r.
4. Cermak J. Impact of Minimum Fan Efficiency Grade, ACME Engineering and Manufactur Corp. <http://www.amca.org>
5. Cermak J., Murphy J. Select Fans Using Fan Total Pressure To Save Energy, ASHRAE Journal, July 2011
6. Lockwood G. ErP Directive demands high minimum efficiency ratings for fans, Ebmpapst.
7. Brendel M., The Role of Fan Efficiency in Reducing HVAC Energy Consumption, AMCA International, www.amca.org/feg, April 2010
8. EVIA - European Ventilation Industry Association, Guidance on Ecodesign requirements for ventilation units, (www.evia.eu),
9. EUROVENT, Questions and answers concerning the Ventilation Units Regulation, (<https://eurovent.eu>)
10. Commission Regulation (EU) No 327/2011 of 30 March 2011 (<http://eur-lex.europa.eu>), Official Journal of the European Union
11. Commission Regulation (EU) No 1253/2014 of 7 July 2014 (<http://eur-lex.europa.eu>), Official Journal of the European Union
12. Commission Regulation (EU) No 1254/2014 of 30 July 2014 (<http://eur-lex.europa.eu>),