

## Modernizacja wentylacji turbogeneratorów dużej mocy

**Streszczenie.** Zwiększanie mocy znamionowej turbogeneratorów wymusza intensyfikację systemu ich chłodzenia. W artykule opisano założenia projektowo-konstrukcyjne zmodernizowanych przez firmę EthosEnergy Poland S.A. (dawniej TurboCare Poland S.A.) wentylatorów turbogeneratorów dużej mocy typu TWW-230, TGHW-63, TGW-200. Na podstawie parametrów punktów pracy przed i po modernizacji wentylatorów, wykazano zwiększenie intensywności chłodzenia przedmiotowych turbogeneratorów.

**Abstract.** Rated power increase of turbogenerators forces to intensify the cooling system. The paper describes the designing assumptions made for blowers of high-power turbogenerators type TWW-230, TGHW-63, TGW-200 modernized by EthosEnergy Poland S.A. (formerly TurboCare Poland S.A.). Based on the parameters of working points before and after modernization of the blowers, there is confirmed increase of the turbogenerator cooling intensity. (**Modernization of high-power turbogenerators ventilation**).

**Słowa kluczowe:** turbogenerator, wentylacja, wentylator, modernizacja.

**Keywords:** turbogenerator, ventilation, blower, modernization.

### Wstęp

Modernizację turbogeneratorów mającą na celu podwyższenie mocy znamionowej wymuszają intensyfikację systemu ich chłodzenia. Mając na uwadze intensyfikację chłodzenia turbogeneratorów, EthosEnergy Poland S.A. (dawniej TurboCare Poland S.A.) podjął prace projektowo-badawcze przy współpracy z Politechniką Śląską, nad nowymi wentylatorami do turbogeneratorów.

Turbogeneratory chłodzone są w różny sposób w zależności od konstrukcji oraz mocy znamionowej. Jako czynnik chłodzący stosowane jest powietrze lub wodór, który przepływa w obiegu zamkniętym. Przepływ czynnika chłodzącego w turbogeneratorze wymuszany jest za pomocą wentylatorów zamocowanych na wale wirnika generatora.

Najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest układ dwóch wentylatorów zamontowanych pojedynczo po obydwu stronach wirnika generatora. Wentylatory mogą pracować w układzie ssącym lub tłoczącym czynnik chłodzący. W generatorach stosowane są wentylatory typu osiowego lub promieniowego. Wirniki wentylatorów osiowych mogą mieć łopatki ustawione na stałe tzn. ze stałym kątem ustawienia łopatki w palisadzie wirnikowej lub nastawne tzn. ze zmiennym kątem ustawienia łopatki w palisadzie wirnikowej.

Poniżej przedstawiono wyniki badań modernizacji wentylatorów na przykładzie turbogeneratorów : TWW-200-2(A), TGHW-63 oraz TGW-200.

### Modernizacja wentylatora turbogeneratora TWW-200-2(A)

Turbogeneratory TWW-200-2(A) posiadają wirniki z wentylatorami osiowymi i łopatkami ustawionymi na stałe w palisadzie wirnikowej. Wentylatory te pracują w układzie ssącym. Po modernizacji przez EthosEnergy Poland S.A. (dawniej TurboCare Poland S.A.) generatorów typu TWW-200-2 i TWW-200-2A o mocy znamionowej 200MW uzyskano wzrost mocy o 30 MW i oznaczono je typem TWW-230. W związku ze wzrostem mocy generatora koniecznym było zwiększenie intensyfikacji jego chłodzenia. EthosEnergy Poland S.A. (dawniej TurboCare Poland S.A.) podjął prace nad nowymi wentylatorami w celu zwiększenia ich intensyfikacji chłodzenia.

Nowe wentylatory zaprojektowano jako osiowe z łopatkami nastawnymi i pracującymi w układzie ssącym. Geometryczne cechy konstrukcyjne zmodernizowanej łopatki jak i łopatek kierowniczych usytuowanych w osłonach wentylatorów turbogeneratora zgłoszono do Urzędu Patentowego RP i uzyskano ochronę patentową.

Zmodernizowaną konstrukcję wentylatorów wdrożono po raz pierwszy do produkcji w turbogeneratorze typu TWW-320 (konstrukcja wentylatorów identyczna jak w turbogeneratorze TWW-230).

W celu zmniejszenia straty wylotowej wentylatora (poprzez zamianę energii kinetycznej czynnika wypływającego z osłony wentylatora na energię statyczną) dokonano dalszej modernizacji konstrukcji wentylatora i zaprojektowano łopatki kierownicze usytuowane w osłonach wentylatorów turbogeneratora TWW-230.

Modernizacja wentylatorów turbogeneratora została oparta na badaniach w skali modelowej. Badania modelowe są oparte na teorii podobieństwa wentylatorów

### Badania modelowe oryginalnego wentylatora turbogeneratora TWW-200-2(A)

W celu dokonania badań wentylatora oryginalnego wykonano jego model o średnicy zewnętrznej  $D = 598$  mm. Wirnik miał 29 łopatek, a wentylator modelowy został odwzorowany na podstawie wentylatora oryginalnego. Teoria podobieństwa dynamicznego umożliwia projektowanie wentylatorów na podstawie badań wentylatorów modelowych. Wyniki badań modelowych ważne są dla całej serii geometrycznie podobnych maszyn, zwanej typoszeregiem. Zjawiska przepływu czynnika przez wentylator charakteryzują następujące wielkości fizyczne:

- wydajność:  $V$  [ $m^3/s$ ]
- spiętrzenie całkowite:  $P_c$  [Pa]
- prędkość obrotowa wirnika:  $n$  [obr/min]
- gęstość czynnika: [ $kg/m^3$ ]
- średnica zewnętrzna wirnika:  $D_2$  [m]

Pomiary osiowego wentylatora modelowego (oryginalnego) zostały wykonane na znormalizowanym stanowisku pomiarowym Politechniki Śląskiej. Pomiarów dokonano na kanale pomiarowym 600 w układzie tłocznym (kanał pomiarowy usytuowany był po stronie wylotowej wentylatora).

Stanowisko pomiarowe (rys1) składało się z rurociągu pomiarowego o średnicy 600 mm wraz z otworkami impulsowymi do pomiaru ciśnienia statycznego, zwężki Venturiego o module  $m=0.4$  oraz urządzenia do dławienia przepływu z automatycznym przesuwem stożka dławiącego.

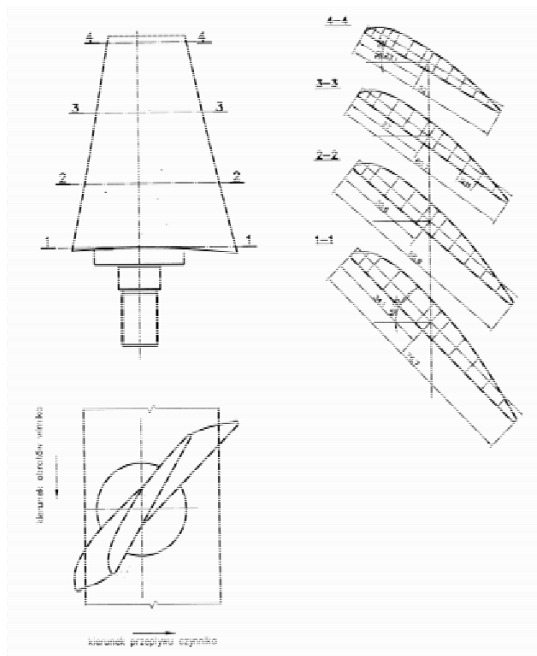
Na podstawie otrzymanych charakterystyk modelowych wentylatora oryginalnego dokonano ich przeliczenia na charakterystyki rzeczywiste za pomocą następujących wzorów [1,2,3,4]:

$$(1) \quad \frac{V_m}{V_{rz}} = \left( \frac{n_m}{n_{rz}} \right) \left( \frac{D_m}{D_{rz}} \right)^3$$

$$(2) \quad \frac{\Delta p_m}{\Delta p_{rz}} = \left( \frac{n_m}{n_{rz}} \right)^2 \left( \frac{D_m}{D_{rz}} \right)^2$$

$$(3) \quad \frac{N_m}{N_{rz}} = \left( \frac{n_m}{n_{rz}} \right)^3 \left( \frac{D_m}{D_{rz}} \right)^5$$

gdzie : $V_m$ ,  $V_{rz}$  – wydajności wentylatora modelowego i rzeczywistego,  $\Delta p_m$ ,  $\Delta p_{rz}$  – przyrosty ciśnienia wentylatora modelowego i rzeczywistego,  $N_m$ ,  $N_{rz}$  – moce wentylatora modelowego i rzeczywistego,  $n_m$ ,  $n_{rz}$  – prędkości obrotowe wentylatora modelowego i rzeczywistego,  $D_m$ ,  $D_{rz}$  – średnice wirnika wentylatora modelowego i rzeczywistego.

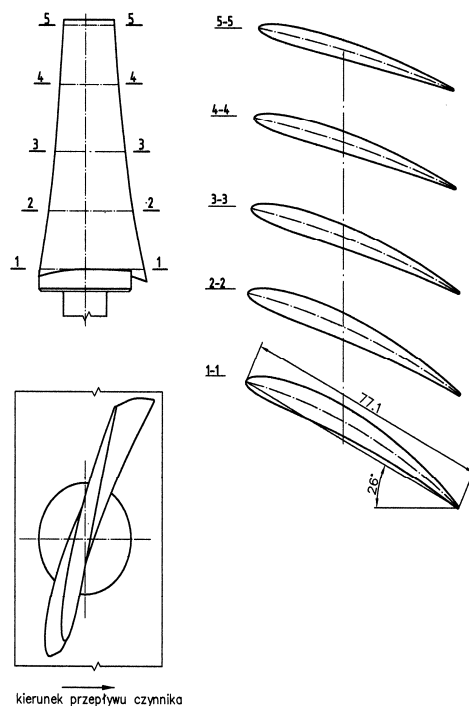
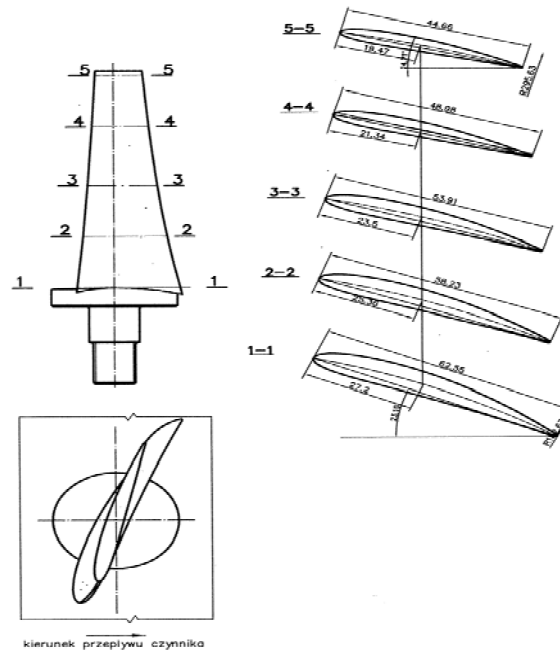


Rys.1. Stanowisko pomiarowe wraz z przekrojami łopatki wentylatora modelowego odwzorowanego na podstawie łopatki oryginalnej [7]

Sprawność wentylatora rzeczywistego obliczono na podstawie sprawności uzyskanej na podstawie badań modelu korzystając ze wzoru Pfeleiderera:

$$(4) \quad \frac{1-\eta}{1-\eta_m} = \left( \frac{Re_m}{Re} \right)^{0,1}$$

gdzie : $\eta$ ,  $\eta_m$  – sprawności wentylatora rzeczywistego i modelowego,  $Re$ ,  $Re_m$  – liczby Reynoldsa wentylatora rzeczywistego i modelowego.



Rys.2. Przekroje łopatki typu A i B zmodernizowanego wentylatora modelowego

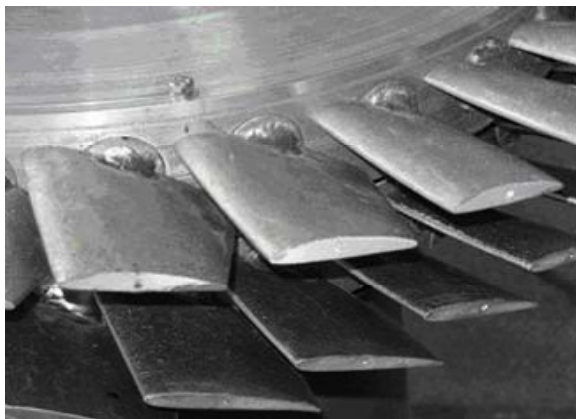
### Projektowanie i badanie wentylatorów zmodernizowanych

W celu zwiększenia wydajności nowego wentylatora chłodzącego generator TWW-230 w porównaniu z wentylatorem oryginalnym zaprojektowano dwa typy łopa-

tek (A i B) o odmiennych geometrycznych cechach konstrukcyjnych w stosunku do łopatki oryginalnej, na podstawie których skonfigurowano nowe wentylatory [1,2,3,4].

Wentylator z łopatkami typu A zaprojektowano z nową liczbą łopatek  $z=29$ , natomiast wentylator z łopatkami typu B zaprojektowano z liczbą łopatek  $z=36$ . Wszystkie wentylatory zostały zbadane przy różnych kątach ustawienia łopatek ( $\alpha$ ).

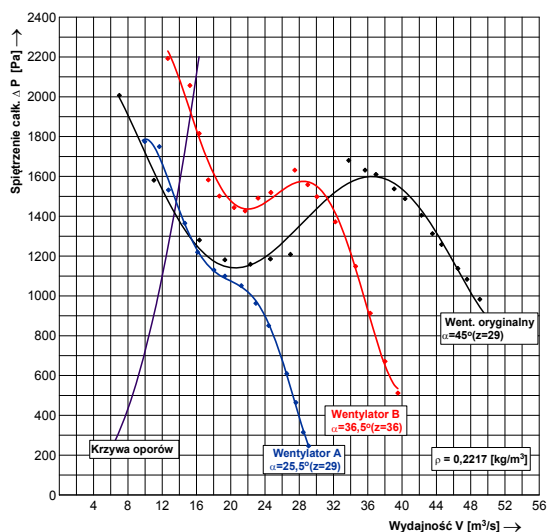
Geometryczne cechy konstrukcyjne łopatek typu A i B zmodernizowanego wentylatora przedstawiono na rysunku 2. Na rysunku 3. przedstawiono wirnik oryginalny i wirnik zmodernizowany typ B.



Rys.3. Wirnik oryginalny i wirnik zmodernizowany typ B

### Porównanie parametrów punktu pracy wentylatora zmodernizowanego i wentylatora oryginalnego turbogeneratorskiego TWW-230

Na rys.4 przedstawiono zmierzone charakterystyki pracy poszczególnych wentylatorów, przeliczone na jednakową gęstość czynnika chłodzącego  $\rho=1.2 \text{ kg/m}^3$ . W celu określenia wpływu zmiany konstrukcji wentylatorów na poprawę chłodzenia generatorów porównano wartości parametrów charakteryzujących punkty pracy wentylatorów zmodernizowanych (przy kącie ustawienia łopatek zapewniającym maksymalną wydajność) i wentylatora oryginalnego. Punkty pracy usytuowane są na przecięciu charakterystyk przepływowych wentylatorów z krzywą oporów wyznaczoną przez Politechnikę Warszawską [5].



Rys 4. Charakterystyki pracy wentylatorów zmodernizowanych do turbogeneratorskiego TWW-230 i wentylatora oryginalnego wraz z krzywą oporów

Parametry punktów pracy (wydajność, spiężenie całkowite) zmodernizowanych wentylatorów oraz wentylatora z łopatką oryginalną zamieszczono w tabeli 1 [10].

Tabela 1. Parametry punktu pracy wentylatorów zmodernizowanych dla badanych kątów ustawienia łopatek oraz wentylatora oryginalnego

Rodzaj wentylatora	Typ łopatki	Liczba łopatek	Wydajność [m³/s]	Spiężenie całkowite [Pa]
oryginalny stały	oryginał	z=29	13,3	1425
zmodernizowany nastawny	A	z=29	13,8	1490
zmodernizowany nastawny	B	z=36	15,7	1905

Na rysunku 5 przedstawiono fotografię zmodernizowanego wirnika turbogeneratorskiego TWW -230

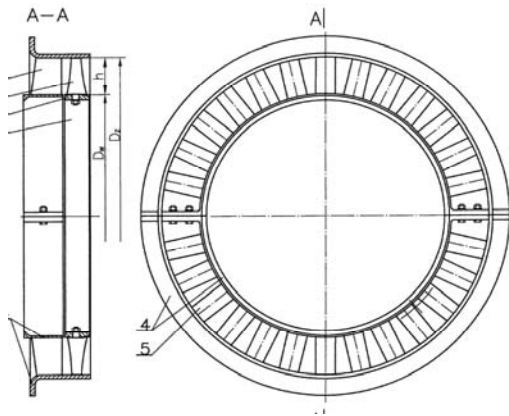


Rys 5. Wirnik turbogeneratorskiego TWW-230 z zmodernizowanym wentylatorem nastawnym

### Projektowanie i konstrukcja wentylatorów z łopatkami kierowniczymi usytuowanymi w osłonie wentylatora.

W turbogeneratorskich TWW-230 czynnik chłodzący napływa na wentylator ze szczeliny pomiędzy wirnikiem a stojanem oraz ze strefy połączeń czołowych stojana. Następnie kierowany jest przez osłonę wentylatora oraz poprzez kanał pionowy w korpusie generatora na chłodnicę, gdzie po ochłodzeniu przepływa do stojana i wirnika generatora.

Przetłaczany czynnik wpływający z osłony wentylatora osiowego posiada pewną energię kinetyczną, która stanowi stratę wylotową wentylatora. Energia ta może być zamieniona na ciśnienie statyczne a przez to zwiększyć ciśnienie całkowite wytwarzane przez wentylator. Zamiana energii kinetycznej czynnika chłodzącego wpływającego z osłony wentylatora na energię statyczną (ciśnienie) jest możliwa poprzez zastosowanie w osłonie odpowiednio wyprofilowanych łopatek kierowniczych usytuowanych bezpośrednio za łopatkami wirnika wentylatora. Tego typu konstrukcja umożliwia zamianę energii kinetycznej czynnika chłodzącego na wylocie z łopatek wirnika wentylatora osiowego na energię statyczną (ciśnienie) i uzyskanie charakterystyki aerodynamicznej wentylatora o podwyższonym ciśnieniu całkowitym w stosunku do wentylatora bez tylnych łopatek kierowniczych, co umożliwi zwiększenie wydajności w jego punkcie pracy. Konstrukcję wentylatora osiowego ze zmodernizowaną łopatką typu B oraz tylnymi łopatkami kierowniczymi usytuowanymi w osłonie wentylatora przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Konstrukcja osłony wentylatora osiowego z wirnikiem osiowym i tylnymi łopatkami kierowniczymi [12,13]

### Badania modelowe wentylatorów z tylnymi łopatkami kierowniczymi.

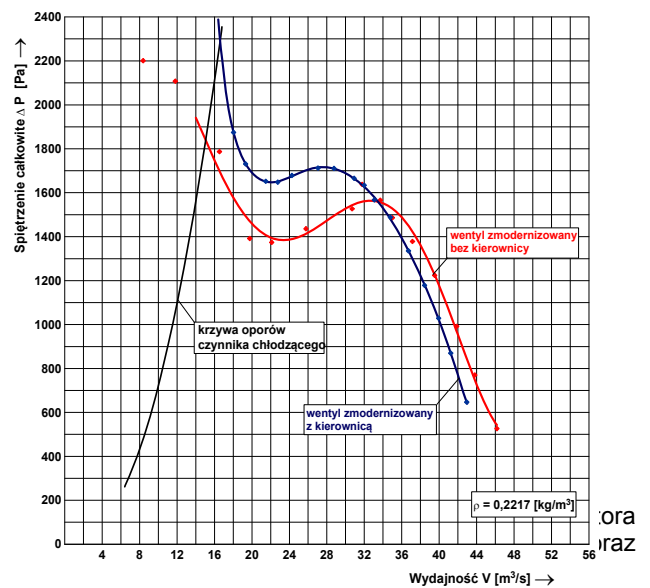
Badania wentylatorów z tylnymi łopatkami kierowniczymi, tj wentylatora zmodernizowanego z łopatką nastawną typu B oraz wentylatora z łopatką oryginalną [16] wykonano w skali modelowej. Za wirnikami wentylatorów umieszczono łopatki kierownicze wykonane według przeprowadzonych obliczeń aerodynamicznych. Wentylatory modelowe zostały

Odwzorowane na podstawie wentylatora zmodernizowanego z łopatką typu B [6, 7, 8, 13, 14] oraz wentylatora z łopatką oryginalną wraz z tylnymi łopatkami kierowniczymi.

Na rys 8 przedstawiono charakterystyki pracy zmodernizowanego wentylatora modelowego z łopatką typu B wraz tylnymi łopatkami kierowniczymi oraz wentylatora zmodernizowanego z łopatką typu B bez łopatek kierowniczych wraz krzywą oporów czynnika chłodzącego.



Rys.7. Dyfuzor wentylatora osiowego z łopatkami kierowniczymi przed i po modernizacji



Rys. 8. Charakterystyki pracy zmodernizowanego wentylatora modelowego z łopatką typu B wraz tylnymi łopatkami kierowniczymi oraz wentylatora zmodernizowanego z łopatką typu B bez łopatek kierowniczych wraz

Tabela 2. Parametry punktu pracy wentylatora zmodernizowanego z łopatkami typu B oraz wentylatora oryginalnego dla wersji z tylnymi łopatkami kierowniczymi oraz bez tych łopatek

Rodzaj wentylatora	Wydajność [ m <sup>3</sup> /s]	Śpiętrzenie całkowite [Pa]
zmodernizowany z tylnymi łopatkami kierowniczymi	16,4	2230
zmodernizowany bez tylnych łopatek kierowniczych	15,7	1905
oryginalny z tylnymi łopatkami kierowniczymi	14,8	1790
oryginalny bez tylnych łopatek kierowniczych	13,3	1425

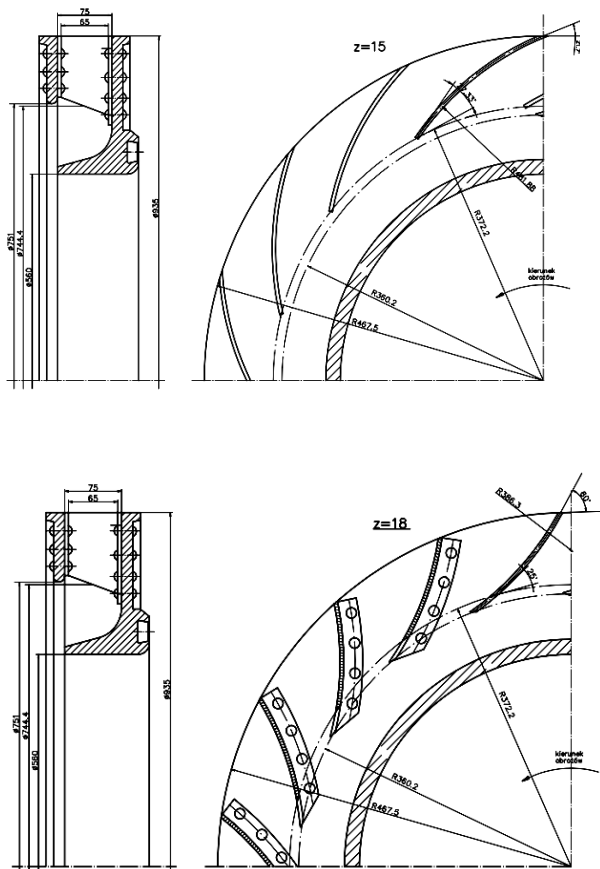
### Porównanie parametrów punktu pracy wentylatora zmodernizowanego i wentylatora oryginalnego z tylnymi łopatkami kierowniczymi oraz bez tych łopatek

Parametry punktu pracy (wydajność i spiętrzenie całkowite), wentylatora zmodernizowanego z tylnymi łopatkami kierowniczymi oraz wentylatora bez tych łopatek kierowniczych podano w tabeli 2. Wyznaczono je na podstawie przeliczonych charakterystyk zmodernizowanych wentylatorów [13,14]. Dla porównania w tabeli tej

zamieszczono również parametry punktu pracy wentylatora oryginalnego z tylnymi łopatkami kierowniczymi oraz oryginalnego bez łopatek kierowniczych.

### Modernizacja wentylatora promieniowego turbogeneratora TGHW-63

Na wale turbogeneratora zabudowane są dwa wentylatory promieniowe: jeden od strony turbiny a drugi od strony wzbudnicy. Powyższe wentylatory służą do przetłaczania czynnika chłodzącego poszczególne elementy turbogeneratora. Jako czynnik chłodzący używany jest wodór o ciśnieniu 0,2 MPa, który schładzany jest w chłodnicach. W celu zwiększenia intensyfikacji chłodzenia turbogeneratora TGHW 63 dokonano modernizacji geometrii wirników wentylatorów promieniowych a także dyfuzorów łopatkowych. Geometryczne cechy konstrukcyjne wentylatorów promieniowych turbogeneratora oryginalnego i zmodernizowanego przedstawiono na rysunku 9.



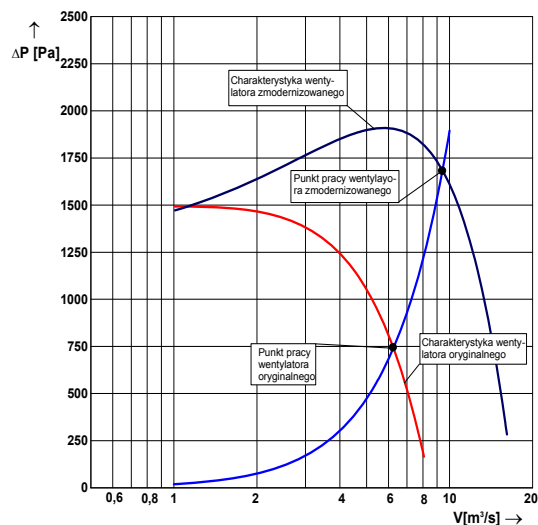
Rys 9. Geometryczne cechy konstrukcyjne wentylatorów oryginalnego (lewy) i zmodernizowanego (prawy) turbogeneratora TGHW 63.

Na rys 10 przedstawiono charakterystyki przepływowe wraz z zaznaczeniem punktów pracy wentylatora oryginalnego i zmodernizowanego.

### Obliczenia promieniowego dyfuzora łopatkowego turbogeneratora TGHW-63

W celu poprawy efektywności zamiany energii ciśnienia dynamicznego na wypływie z wentylatora na ciśnienie statyczne [15] dokonano modernizacji dyfuzora turbogeneratora TGHW-63. Dokonano obliczeń kąta wypływu czynnika z zmodernizowanego wentylatora turbogeneratora TGHW-63 w celu określenia kąta napływu

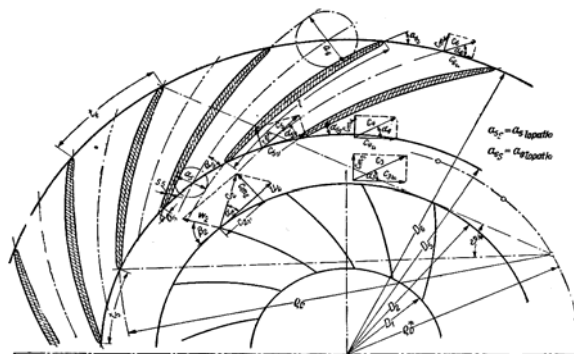
czynnika na dyfuzor łopatkowy. Obliczenia przepływowe dyfuzora łopatkowego turbogeneratora TGHW -63 współpracującego ze zmodernizowanym wirnikiem mają na celu określenie przyrostu ciśnienia statycznego w dyfuzorze łopatkowym poprzez optymalne ukształtowanie geometrycznych cech konstrukcyjnych dyfuzora, takich jak: ilość łopatek w dyfuzorze oraz kąty ich ustawienia w dyfuzorze.



Rys 10. Charakterystyki przepływowe wraz z zaznaczeniem punktów pracy wentylatora oryginalnego i zmodernizowanego.

### Dyfuzor łopatkowy

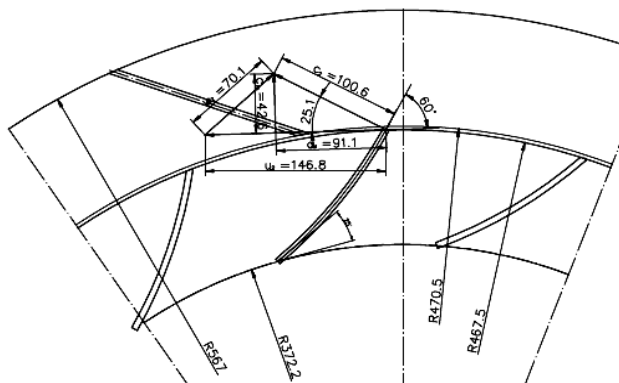
W dyfuzorach łopatkowych na przepływający czynnik działają siły pochodzące od łopatek, które umożliwiają uzyskanie większego zmniejszenia składowej obwodowej prędkości  $c_u$  niż to ma miejsce w dyfuzorach bezłopatkowych. W bezłopatkowej części dyfuzora nierównomierność przepływu spowodowana skończoną grubością łopatek wirnika i dyfuzora oraz powstałymi w wieńcu wirnikowym zaburzeniami w dużym stopniu ulegają wyrównaniu. Łopatki kierownicze zawsze oddziałują na pracę wirnika, przy czym efekt tego oddziaływania zmienia się odpowiednio do wielkości przestrzeni pomiędzy kołem wirnikowym a kierownicą; jest ono tym mniejsze, im większa jest przestrzeń, a więc większa jest odległość pomiędzy wirnikiem a kierownicą. Oddziaływanie łopatek kierowniczych powoduje wahania ciśnień na wirniku, które odpowiednio zmieniają rozkład ciśnień za wirnikiem.



Rys 11. Trójkąty prędkości w dyfuzorze bezłopatkowym (prędkości z indeksem 3) i łopatkowym (prędkości z indeksami 4 i 5).  $D_1$  – średnica wlotowa wirnika,  $D_2$  – średnica zewnętrzna wirnika,  $D_3$  – średnica wlotowa dyfuzora,  $D_4$  – średnica wylotowa dyfuzora.

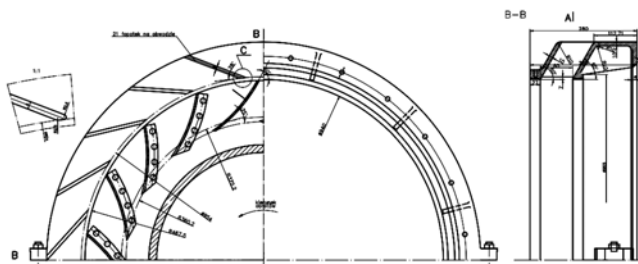
## Obliczanie dyfuzora łopatkowego turbogenerators TGHW 63

Na podstawie geometrycznych cech konstrukcyjnych i parametrów punktu pracy zmodernizowanego wentylatora turbogenerators TGHW-63 dokonano obliczeń trójkąt prędkości na wylocie z wentylatora oraz kąta ustawienia łopatki w współpracującym z nim dyfuzorze dla wydajności rzeczywistej tj. 9,4 m<sup>3</sup>/s.



Rys. 12 Trójkąt prędkości na wylocie z zmodernizowanego wirnika turbogenerators TGHW – 63 oraz kąt ustawienia łopatki w współpracującym z nim dyfuzorze dla wydajności rzeczywistej tj. 9,4 m<sup>3</sup>/s.

Zmodernizowany dyfuzor łopatkowy turbogenerators TGHW – 63 przedstawiono na rys 13



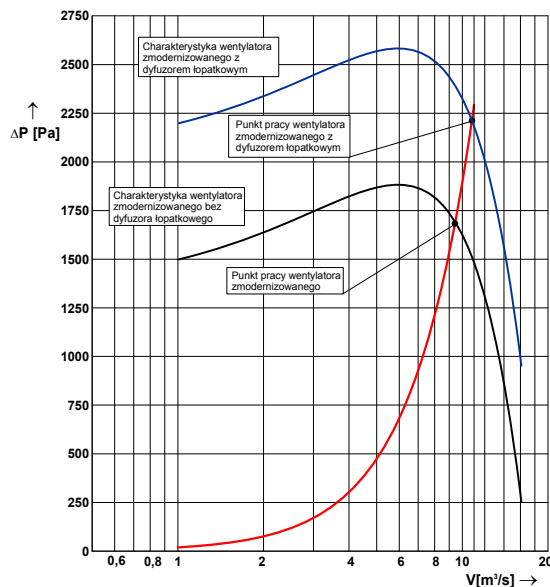
Rys.13 Zmodernizowany dyfuzor łopatkowy turbogenerators TGHW – 63

Na rys 14 zamieszczono charakterystykę przepływową zmodernizowanego wentylatora turbogenerators TGHW-63 oraz zmodernizowanego wentylatora współpracującego z dyfuzorem łopatkowym turbogenerators.

Parametry punktu pracy (wydajność i ciśnienie całkowite), wentylatora służącego do chłodzenia turbogenerators TGHW-63 (zmodernizowanego oraz zmodernizowanego współpracującego z dyfuzorem promieniowym) podano w tabeli 3. Dla porównania w tabeli tej zamieszczono również parametry punktu pracy wentylatora oryginalnego.

Tabela 3. Parametry punktu pracy wentylatora oryginalnego zmodernizowanego oraz zmodernizowanego współpracującego z dyfuzorem promieniowym turbogenerators TGHW-63.

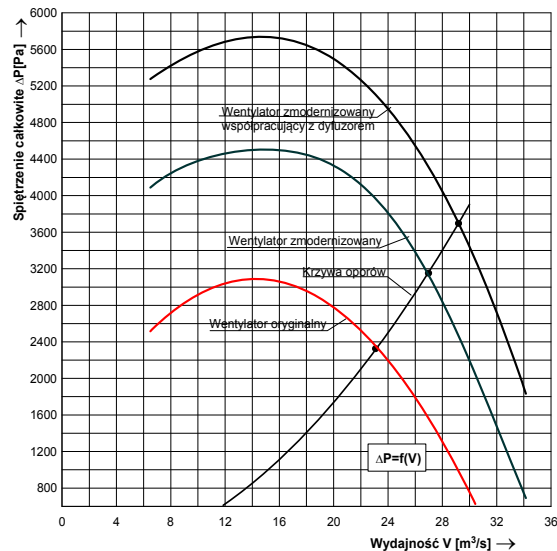
Rodzaj wentylatora	Wydajność [m <sup>3</sup> /s]	Śpiżnienie całkowite [Pa]
wentylator oryginalny	6,3	595
wentylator zmodernizowany	9,4	1680
wentylator zmodernizowany z dyfuzorem	10,95	2190



Rys 14. Charakterystyka przepływową zmodernizowanego wentylatora turbogenerators TGHW-63 oraz zmodernizowanego wentylatora współpracującego z dyfuzorem łopatkowym.

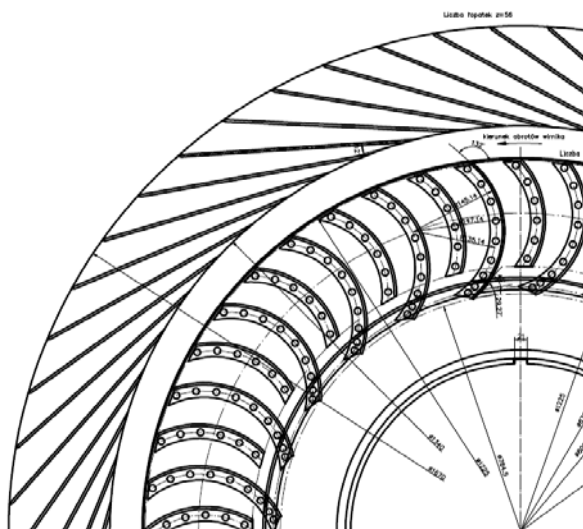
## Modernizacja wentylatora promieniowego turbogenerators TGW-200

Na wale turbogenerators TGW 200 zabudowane są dwa wentylatory: osiowy i promieniowy. Powyższe wentylatory służą wraz z chłodnicami do chłodzenia turbogenerators za pośrednictwem czynnika chłodzącego, którym jest wodór o ciśnieniu 0,3 MPa. Poniżej przedstawiono wyniki badań i modernizacji wentylatora promieniowego współpracującego z promieniowym dyfuzorem łopatkowym [16]. Proces projektowania zmodernizowanego wentylatora przebiegał identycznie jak wentylatora do turbogenerators TGHW 63. Na rys 15 przedstawiono charakterystyki przepływowe tego wentylatora.



Rys 15. Charakterystyka przepływową wentylatora oryginalnego i zmodernizowanego turbogenerators TGW-200 oraz zmodernizowanego wentylatora współpracującego z dyfuzorem łopatkowym.

W tabeli 4 zamieszczono parametry punktów pracy wentylatora: oryginalnego, zmodernizowanego oraz wentylatora zmodernizowanego współpracującego z dyfuzorem turbogenerators TGW-200.



Rys 16. Zmodernizowany wentylator promieniowy turbogeneratorsa TGW-200 współpracujący z promieniowym dyfuzorem łopatkowym.

Tabela 4. Parametry punktów pracy wirnika wentylatorsa zmodernizowanego oraz wirnika wentylatorsa oryginalnego .

Rodzaj wentylatorsa	Wydajność [m <sup>3</sup> /s]	Śpiętnienie całkowite [Pa]
wentylator oryginalny	23,4	2420
wentylator zmodernizowany	27	3120
wentylator zmodernizowany z dyfuzorem	29	3700

#### Wnioski i uwagi końcowe

1. W artykule opisano modernizację wentylatorsów osiowych służących do chłodzenia turbogeneratorsa TWW-230 o mocy 230MW wraz z tylnymi łopatkami kierowniczymi. Zamieszczono rzeczywiste charakterystyki pracy tych wentylatorsów wraz z krzywymi oporów przepływu czynnika chłodzącego
2. Badania przepływowe modelowych zmodernizowanych wentylatorsów przy różnych kątach ustawienia łopatek wykazały, że najlepszymi parametrami, dla turbogeneratorsa TWW-230, charakteryzuje się wentylator z łopatkami typu B.
3. Z porównania wyznaczonych parametrów punktu pracy wynika, że zmodernizowany wentylator ma o 17 punktów procentowych większą wydajność niż oryginalny. Natomiast zmodernizowany wentylator z łopatkami typu B i tylnymi łopatkami kierowniczymi ma o 24% większą wydajność niż oryginalny wentylator (bez łopatek kierowniczych)
4. Wykonane obliczenia cieplne oraz pomiary nagrzewania potwierdziły znaczną poprawę chłodzenia, a w konsekwencji zmniejszenie przyrostu temperatury elementów aktywnych turbogeneratorsa TWW-230 po zmianie oryginalnych wentylatorsów na zmodernizowane o zwiększonej wydajności[17].
5. Zmodernizowane wentylatory zamontowano w kilku turbogeneratorsach TWW-230 w Polsce oraz w jednym typu TWW-320-2Y3 w Grecji. Modernizacje turbogeneratorsów TWW-200-2(A), których elementem jest wymiana wentylatorsów na nowe o zwiększonej wydajności daje możliwość podwyższeniem mocy. Dużą liczbą tego typu generatorów zainstalowanych w krajowych elektrowniach sprawia, że zakończone sukcesem prace badawcze nad intensyfikacją chłodzenia mają kluczowe znaczenie dla rozwoju polskiej elektroenergetyki.

6. W artykule przedstawiono również proces modernizacji wentylatorsa turbogeneratorsa TGHW-63 oraz modernizacji dyfuzora łopatkowego w celu poprawy efektywności zamiany energii ciśnienia dynamicznego na wypływie z wentylatorsa na ciśnienie statyczne. Przeprowadzone obliczenia parametrów przepływowych wykazały przyrost wydajności wentylatorsa zmodernizowanego współpracującego dyfuzora łopatkowego w stosunku do wentylatorsa zmodernizowanego o 16,5 punktów procentowych.

7. W artykule przedstawiono również charakterystyki wentylatorsa oryginalnego, zmodernizowanego oraz zmodernizowanego współpracującego z dyfuzorem łopatkowym turbogeneratorsa TGW-200. Przeprowadzone obliczenia parametrów przepływowych wykazały przyrost wydajności wentylatorsa zmodernizowanego współpracującego dyfuzora łopatkowego w stosunku do wentylatorsa zmodernizowanego o 8 punktów procentowych.

#### LITERATURA

- [1] B. Eck: Ventilatoren. Springer – Verlag, Berlin 1972.
- [2] B. Eckert : Sprężarki osiowe i promieniowe – PWT, Warszawa 1959.
- [3] W. Bohl : Axialventilatoren. Berechnung und Entwurf von Ventilatoren. (im Buch „ Ventilatoren“. L. Bommes /J. Fricke/ K. Klaes (Hrsg.) Vulkan-Verlag, Essen –1994).
- [4] Carolus T.: “Ventilatoren. Aerodynamischer Entwurf, Konstruktion”. B,G, Teubner Verlag. Wiesbaden 2003.
- [5] W .Partyka, J. Mukosiej, J. Kosk, J. Szczypior, D. Skupieńska, S. Klimek - Politechnika Warszawska „Obliczenia wentylacyjne turbogeneratorsa TWW-230”. Praca niepublikowana, (opracowanie wykonane na zlecenie „ENERGOSERWIS” S.A Lubliniec) grudzień 1998r.
- [6] E .Prysok: „Weryfikacja geometrii i profilu łopatki wentylatorsa osiowego nastawnego do wirnika turbogeneratorsa o mocy 230 MW chłodzonego wodorem”. Praca niepublikowana, (opracowanie wykonane na zlecenie „Energoserwis” S.A Lubliniec) sierpień 2004.
- [7] Wiropol Sp. z o.o Gliwice „ Wykonanie badań przepływowych wentylatorsa modelowego odwzorowanego na podstawie wentylatorsa oryginalnego chłodzącego turbogeneratorsa o mocy 230 MW .” Praca niepublikowana, (badanie wykonane na zlecenie „Energoserwis” S.A Lubliniec) marzec 2007r.
- [8] E.Prysok: „Wykonanie obliczeń charakterystyk rzeczywistych nowego wentylatorsa nastawnego do generatora TWW-230 MW oraz wentylatorsa oryginalnego na podstawie charakterystyk otrzymanych podczas badań przepływowych wentylatorsów modelowych.” Praca niepublikowana (opracowanie wykonane na zlecenie „Energoserwis” S.A Lubliniec) marzec 2007.
- [9] E. Prysok: „Wykonanie obliczeń aerodynamicznych wentylatorsa do generatora TWW-230 ze zmodernizowaną łopatką nastawną, na bazie dotychczasowych wyników badań przepływowych wentylatorsów modelowych.” Praca niepublikowana (opracowanie wykonane na zlecenie „Energoserwis” S.A Lubliniec) czerwiec 2007.
- [10] Wiropol Sp. z o. o Gliwice „Wykonanie badań przepływowych wentylatorsa modelowego odwzorowanego na podstawie wentylatorsa zmodernizowanego chłodzącego turbogeneratorsa o mocy 230 MW, dla czterech kątów ustawienia łopatek wirnika.” Praca niepublikowana (badanie wykonane na zlecenie „Energoserwis” S.A Lubliniec) maj 2007 r.
- [11] S. Sieradzki, E. Prysok, J. Otte, J. Dziuba, J. Adamek: „Badania optymalizacyjne osiowych wirników wentylatorsów do generatorów dużej mocy” – Pol. Śl. „ VII Międzynarodowa Konferencja : Wentylatory i pompy przemysłowe”. Gliwice 2007.
- [12] Wiropol Sp. z o.o Gliwice „Wykonanie badań przepływowych wentylatorsa modelowego z tylnymi łopatkami kierowniczymi dla generatora TWW-230 MW”. Praca niepublikowana (badanie wyk. na zlecenie „Energoserwis” S.A Lubliniec) październik 2007r.
- [13] E. Prysok: „Wykonanie obliczeń charakterystyk rzeczywistych wentylatorsów modelowych z tylnymi łopatkami kierowniczymi w wersji oryginalnej i zmodernizowanej chłodzącego turbogeneratorsa TWW-230 na podstawie charakterystyk

- otrzymanych podczas badań modelowych. Praca niepublikowana (opracowanie wykonane na zlecenie „Energoserwis” S.A Lubliniec) wrzesień 2008.
- [14] S. Sieradzki, E. Prysok, J. Otte, J. Dziuba, J. Adamek. Wentylator osiowy z tylnymi łopatkami kierowniczymi do generatorów. Energetyka, wrzesień 2009.
- [15] E. Prysok; „Modernizacja dyfuzora generatora TGHW-63 przystosowanego do współpracy z zmodernizowanym wentylatorem”. Praca niepublikowana (opracowanie wykonane na zlecenie „Ethos Energy” S.A Lubliniec) luty 2015
- [16] E. Prysok; „Modernizacja dyfuzora łopatkowego generatora TGW 200 w celu poprawy wentylacji przystosowania go do współpracy z zmodernizowanym wentylatorem promieniowym”. Praca niepublikowana (opracowanie wykonane na zlecenie „Ethos Energy” S.A Lubliniec) maj 2015
- [17] R. Krok, M. Pasko: „Modernizacje turbogeneratorów zmniejszające koszty wytwarzania energii elektrycznej”. Przegląd Elektrotechniczny, R.88, nr 7a/2012.

**Autorzy:** dr inż. Damian Kardas, EthosEnergy Poland S.A., ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec, E-mail: [damian.kardas@turbocare.pl](mailto:damian.kardas@turbocare.pl); dr inż. Rafał Maniara, EthosEnergy Poland S.A., ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec, E-mail: [rafal.maniara@turbocare.pl](mailto:rafal.maniara@turbocare.pl); dr inż. Eugeniusz Prysok, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18 A, 44-100 Gliwice, E-mail: [eugeniusz.p1@op.pl](mailto:eugeniusz.p1@op.pl); dr inż. Stefan Sieradzki, [s\\_sieradzki@poczta.onet.pl](mailto:s_sieradzki@poczta.onet.pl); inż. Jan Adamek, EthosEnergy Poland S.A., ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec, E-mail: [jan.adamek@turbocare.pl](mailto:jan.adamek@turbocare.pl).