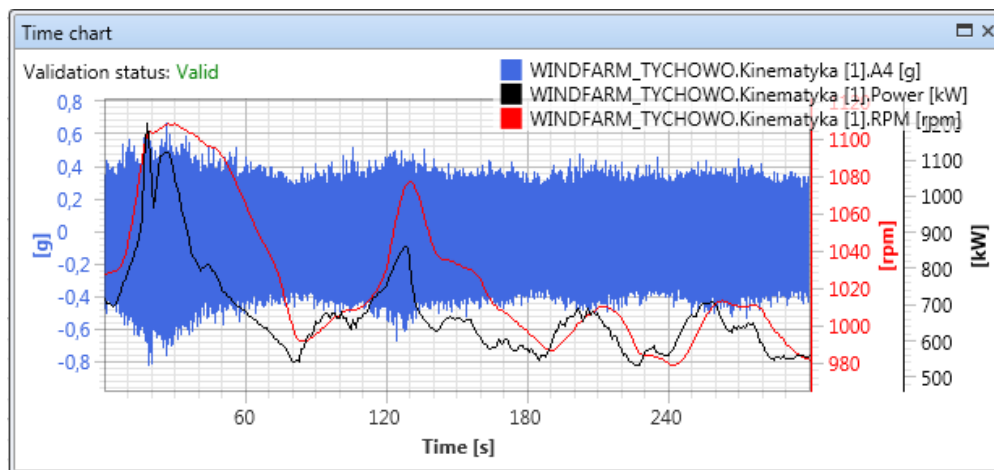


takich czynników technologicznych są:

- ciśnienie dla kompresorów tłokowych i turbin,
- kąt nachylenia łopat dla turbin parowych,
- ciśnienie oleju dla maszyn wyposażonych w przekładnie smarowane obiegiem zewnętrznym,
- gramatura dla maszyn drukarskich.

2.5 Wybrane parametry eksploatacyjne

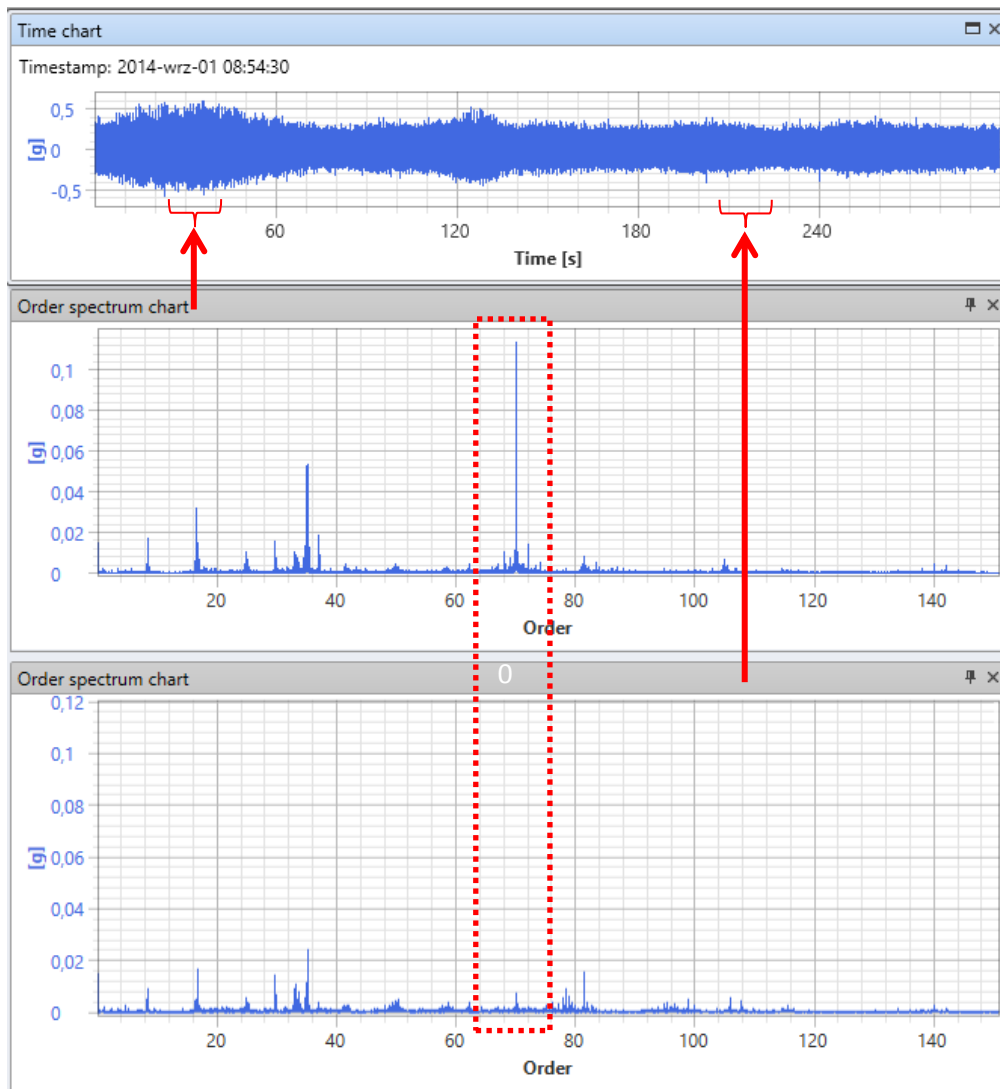
Spośród zidentyfikowanych parametrów eksploatacyjnych, zespół badawczy koncentrował się na silnie zmiennej prędkości obrotowej oraz silnie zmiennym obciążeniu z tytułu przesłanek teoretycznej i praktycznej. Po pierwsze, wymienione parametry zostały sklasyfikowane jako parametry o największym wpływie na wartość amplitudy i częstotliwości chwilowej komponentów częstotliwościowych sygnałów drgań, co koncepcyjnie ilustruje rysunek 2.



Rysunek 2. Ilustracja przebiegu drgań wraz z synchronicznie zarejestrowanymi wartościami prędkości obrotowej i obciążenia

Na rysunku 2 widać, że wraz ze zmianą wartości prędkości lub obciążenia obserwuje się zmianę wartości amplitudy sygnału drgań. W zilustrowanym przykładzie, w którym prędkość ma wartość z przedziału 980-1120 RPM, a obciążenie zmienia się w zakresie 600-1200 kW, zmiany wartości amplitudy są generalnie monotonicznie skorelowane ze zmianami paramtrów procesowych, tj. wraz z ich wzrostem, wartość

amplitudy wzrasta, a w przypadku ich spadku, maleje.



Rysunek 3. Od góry: przebieg czasowy 300 sekund z turbiny wiatrowej ; widmo w dziedzinie rzędów z 10 sekund w czasie względnie wysokiej amplitudy ; widmo w dziedzinie rzędów z 10 sekund w czasie względnie niskiej amplitudy

Przykładowo, Rys. 3 ilustruje wpływ zmiany mocy sygnału drgań (spowodowanego zmiennością parametrów operacyjnych) na wartość komponentów częstotliwościowych. Na rysunku w czerwonej ramce linią przerywaną zaznaczono komponent zazębienia przekładni obiegowej obliczony z dwóch zaznaczonych fragmentów. Jak można zaobserwować, maksymalna wartość amplitudy

komponentu ząbienia zmienia się ponad 10-krotnie, co np. wg. Normy VDI 3834

Jadnakże, nie jest to zachowanie maszyny, które obserwuje się w całym zakresie prędkości obrotowej, ponieważ dla każdej maszyny występują tzw. prędkości krytyczne, poniżej których, ale i powyżej których (w pewnym zakresie), amplituda sygnału drgań jest wyraźnie mniejsza. Ideą prowadzonych prac było zaproponowanie takiej transformaty matematycznej, która normalizowałaby wartości amplitudy rozwiązując ww. opisany problem.

Jako drugi powód selekcji podanych parametrów eksploatacyjnych przyjęto założenie, iż wybrane parametry są najczęściej mierzalnymi parametrami w warunkach przemysłowych, co zwiększa szanse na możliwość zastosowania wyników pracy badawczej w procesie monitorowania i diagnostyki maszyn przemysłowych.

3 Obiekt rzeczywisty – turbina wiatrowa

3.1 Charakterystyka obiektu

Opisane pomiary na obiekcie rzeczywistym zostały przeprowadzone w okresie grudzień 2014 – luty 2015 roku w Tychowie (gmina Sławno, województwo zachodniopomorskie). Do pomiarów wybrano jedną z dwudziestu turbin wiatrowych typu NORDEX N90. Zdjęcie rzeczywist turbiny przedstawiono na rysunku 4.

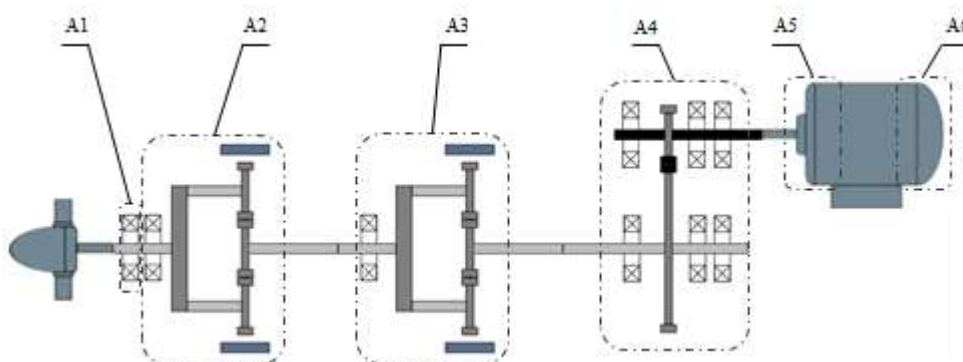


Rysunek 4. Zdjęcie obiektu oraz lokalizacja (google maps)



Rysunek 5. Widok układu napędowego turbiny wiatrowej

Turbina wiatrowa, na której zostały przeprowadzone pomiary wibroakustyczne to 2.5 megawatowa jednostka typu NORDEX N90/2500 zinstaltowana w 2009 roku. o wysokości 100 m, średnicy wirnika 90 m, z regulowanym kątem natarcia łopat (z ang. tzw. *pitch controlled*), wyposażona w system przekładniowy.



Rysunek 6. Schemat kinematyczny badanej turbiny wiatrowej

Układ napędowy składa się z (od strony napędu): łopat, łożysk głównego, przekładni planetarnej nr 1, przekładni obiegowej typu planetarnego nr 2, przekładni równoległej jednostopniowej.

3.2 Lokalizacja czujników drgań

Na badanej turbinie wiatrowej zamontowano 6 czujników drgań (akcelerometrów) typu VIS 311B, z pasmem przenoszenia do 12 kHz, wg. Tabeli i rysunku 6.

Lp.	Symbol czujnika	Zakres
1	A1	Łożysko główne
2	A2	Przekładnia planetarna nr 1
3	A3	Przekładnia planetarna nr 2
4	A4	Przekładnia równoległa
5	A5	Łożysko generatora (napęd)
6	A6	Łożysko generatora

W trakcie pomiarów, w celu weryfikacji opracowanego modelu matematycznego dla badanych sygnałów, szczególną uwagę skupiono na komponentach cyklostacjonarnych drugiego rzędu generowanych przez pracę elementów łożyska tocznego. W tym celu zidentyfikowano łożysko typu NSK 6344-MC3 monitorowane kanałem oznaczonym A6 zlokalizowanym na silniku (generatorze), przedmiotowym na zdjęciu. Częstotliwości względne łożyska podano w tabeli.



Rysunek 7. Lokalizacja czujnika z obudowie łożyska generatora

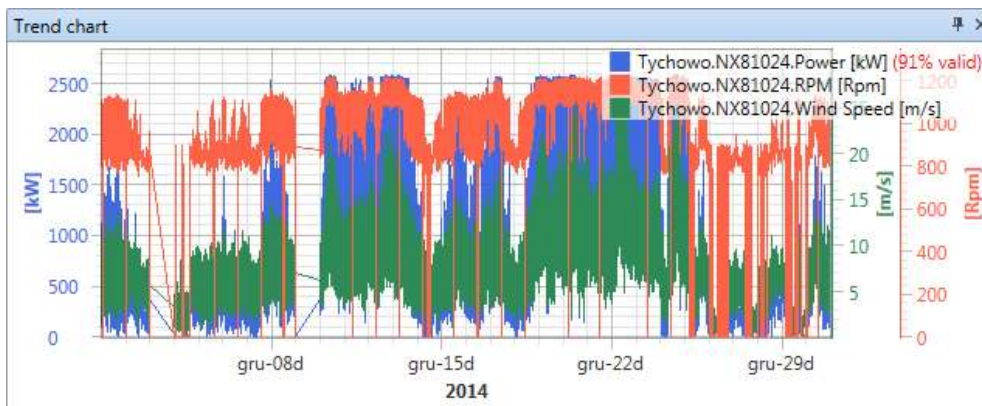
Lp.	Symbol	Wartość częstotliwości charakterystycznej	Znaczenie diagnostyczne
1	BPFI	5.34 (x prędkość obrotowa)	Uszkodzenie lokalne bieżni wewnętrznej
2	BPFO	3.66 (x prędkość obrotowa)	Uszkodzenie lokalne bieżni zewnętrznej
3	BSF	5.17 (x prędkość obrotowa)	Uszkodzenie elementu tocznego
4	FTF	0.41 (x prędkość obrotowa)	Uszkodzenie koszyka

3.3 Zarejestrowane sygnały

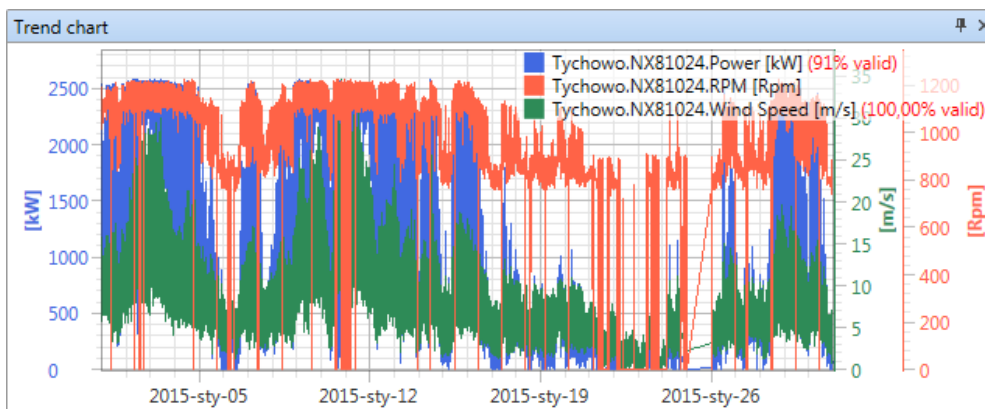
W trakcie pomiarów rejestrowano parametry procesowe: prędkość wałka generatora, moc (uśrednioną moc czynną co 1 sekundę) oraz prędkość wiatru. Wykorzystana jednostka akwizycji umożliwiała rejestrację parametrów procesowych co 1 sekundę, gwarantując wysoką jakość pomiarów pod kątem obserwacji silnych i szybkich zmian warunków eksploatacyjnych. Rysunki 7-9 przedstawiają wykresy trzech serii w kolejnych miesiącach pomiarów.

Jednocześnie, system pomiarowy rejestrował drgania na sześciu lokalizacjach jednocześnie, tj. z czujników A1-A6. Sygnały drgań były rejestrowane z długością określoną wg. oczekiwanej rozdzielczości widmowej, tj. jako funkcja względnej prędkości wałka, na którym są zlokalizowane elementy monitorowane przez dany czujnik, wg. tabeli.

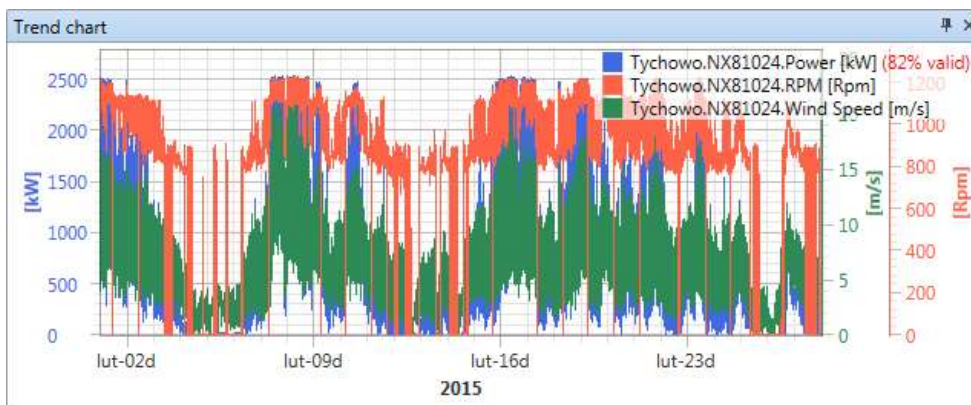
Lp.	Symbol czujnika	Długość sygnałów
1	A1	60 s
2	A2,A3	40 s
3	A4	20 s
4	A5,A6	10 s



Rysunek 8. Wykres prędkości, mocy i wiatru: grudzień



Rysunek 9. Wykres prędkości, mocy i wiatru: styczeń

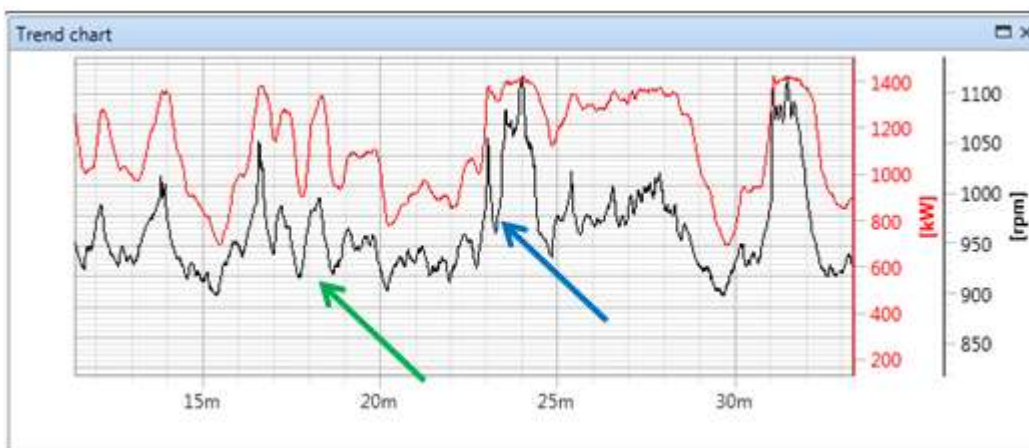


Rysunek 10. Wykres prędkości, mocy i wiatru: luty

Jak ilustrują rysunki ??, badana turbina wiatrowa charakteryzuje się względnie

wysoką zmiennością wartości parametrów procesowych, a więc i warunków eksploatacyjnych. W przypadku trzech miesięcy, w których rejestrowano drgania i sygnały procesowe, widać, iż zmienność jest cechą inherentną i występuje praktycznie zawsze na wysokim poziomie.

Wstępna analiza chwilowych wartości mocy oraz prędkości obrotowej badanej turbiny wskazuje, iż te parametry są skorelowane zawsze długoterminowo, natomiast ich wartości chwilowe mogą, lecz nie muszą być skorelowane, co zilustrowano na rysunku ?.



Rysunek 11. Chwilowe wartości mocy i prędkości dla turbiny wiatrowej

Jak wskazuje strzałka zielona (z lewej strony), dla płynnie zmieniających się warunków prędkości, wartość mocy wykazuje wartości przeskalowane względem niej, natomiast dla silnie zmiennej prędkości, wartość mocy nie musi być skorelowana z wartością prędkości, co ilustruje strzałka niebieska (z prawej strony), co świadczy o ogólnej nieprzewidywalności wpływu zmienności parametrów procesowych na wartości amplitudy drgań i w pełni uzasadnia opracowaną transformację w celu analizy sygnałów z badanych obiektów.

4 Podsumowanie

W ramach realizacji zadania zebrano sygnały drganiowe z obiektu rzeczywistego, tj. turbiny wiatrowej. Jak ilustrują rysunki, badana turbina wiatrowa wykazuje zmienność wartości parametrów procesowych o kilkadziesiąt procent w czasie niższym niż 30 sekund, co

świadczy o tym, iż zmiany można uznać za ekstremalne dla układu kinematycznego o tak dużej bezwładności. W kolejnym zadaniu przeprowadzona zostanie analiza sygnałów drgań pod kątem zastosowania opracowanej metody dla sygnałów rzeczywistych.

5 Bibliografia

1. Bendat J., Piersol A., Random Data: Analysis and Measurement Procedures, John Wiley & Sons, New Jersey, 4th ed. (2010)
2. Shin K., Hammond J., Fundamentals of Signal Processing for Sound and Vibration Engineers, John Wiley & Sons, England (2008)
3. Antoni J., Editorial, Mech. Syst. and Sign. Proc. 19:6, pp. 1163-1165 (2005)
4. Antoni J., Blind separation of vibration components: Principles and demonstrations, Mech. Syst. and Sign. Proc. 19:6, pp. 1166-1180 (2005)
5. Antoni J., Randall R.B., Unsupervised noise cancellation for vibration signals: part II - a novel frequency-domain algorithm, Mech. Syst. and Sign. Proc. 18:1, pp. 103-117 (2004)
6. Antoni J., The spectral Kurtosis: a useful tool for characterizing nonstationary signals, Mech. Syst. and Sign. Proc. 20:2, pp. 282-307 (2006)
7. Barszcz T., Decomposition of vibration signals into deterministic and nondeterministic components and its capabilities of fault detection and identification, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science 19:2, pp.327-335 (2009)
8. Dapena A., Escudero C., A novel unsupervised strategy to separate convolutive mixtures in the frequency domain, Lecture Notes in Computer Science, Artificial Neural Nets Problem Solving Methods, Volume 2687, pp. 1046 (2003)
9. Yang Y. et al., A gear fault diagnosis using Hilbert spectrum based on MODWPT and a comparison with EMD approach, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation 42:4, pp. 542-551 (2009)
10. Qin Y. et al, A new method for multicomponent signal decomposition based on

self-adaptive filtering, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation 44:7, pp. 1312-132 (2011)