

# BADANIE METODĄ EMISJI AKUSTYCZNEJ HYDROAKUMULATORÓW W SIŁOWNIACH WIATROWYCH



**DR INŻ. TOMASZ DUNAJ**  
STARSZY SPECJALISTA  
URZĄDZEŃ CIŚNIENIOWYCH  
Urząd Dozoru Technicznego  
Oddział w Poznaniu

Elektrownia wiatrowa wytwarza energię elektryczną, wykorzystując generatory (turbiny wiatrowe) napędzane energią wiatru. Uzyskana w ten sposób energia jest określana jako ekologicznie czysta, gdyż, pomijając nakłady energetyczne wynikające z wybudowania elektrowni, wytworzenie energii nie wymaga spalania żadnego paliwa.

**BADANIA METODĄ EMISJI AKUSTYCZNEJ PROWADZONE SĄ W CELU WYKRYCIA I LOKALIZACJI ORAZ KLASYFIKACJI ŹRÓDEŁ SYGNAŁÓW EMISJI AKUSTYCZNEJ GENEROWANYCH PRZEZ POWIERZCHNIOWE I WEWNĘTRZNE NIECIĄGŁOŚCI W KONSTRUKCJI URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH. MOŻLIWOŚĆ WYKONYWANIA BADAŃ W TRAKCIE EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ SPRAWIA, ŻE OBECNIE METODA TA JEST UZNAWANA ZA ODPOWIEDNIĄ DO BADAŃ OKRESOWYCH DUŻYCH URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH. EMISJA AKUSTYCZNA BARDZO DOBRZE UZUPEŁNIA SIĘ Z INNYMI METODAMI BADAŃ NIE-NISZCZĄCYCH, CO POZWALA NA WERYFIKACJĘ I DOKŁADNIEJSZĄ OCENĘ WYKRYWANYCH USZKODZEŃ.**

Badania metodą emisji akustycznej dla siłowni wiatrowych rozpoczęto w UDT w roku 2018. Badania stałych zbiorników ciśnieniowych na siłowniach wiatrowych realizowane przez Urząd Dozoru Technicznego w ciągu ostatnich 5 lat prowadzone były na sukcesywnie rosnącej liczbie elektrowni wiatrowych. Z każdym rokiem przybywa tych źródeł alternatywnej energii.

Opracowano możliwość wykonywania badań jednocześnie na wszystkich hydroakumulatorach zamontowanych w siłowni wiatrowej. Obecnie w pełni możliwe jest wykonanie przez Urząd Dozoru Technicznego badań zastępczych na hydroakumulatorach metodą emisji akustycznej. Warunkiem niezbędnym jest konieczność złożenia przez eksploatującego do właściwego oddziału terenowego UDT stosownych dokumentów w celu uzyskania zgody na zastąpienie badań oraz przeprowadzenie badań testowych podczas wizji lokalnej. Wynikają one z szerokiej gamy rozwiązań stosowanych przez producentów turbin wiatrowych oraz konieczności przygotowania przez użytkownika obiektów do badań.

W przypadku badań metodą AE (ang. *Acoustic Emission* - AE lub *Acoustic Emission Testing* - AT) typowych urządzeń ciśnieniowych lub płaszczów magazynowych fala AE propaguje od źródła bezpośrednio w materiale (metalu) i przetwarzana jest na sygnał AE przez czujniki rozmieszczone na powierzchni ścianki badanego urządzenia. Następnie sygnał AE rejestrowany i przetwarzany jest przez system pomiarowy AE. W tym przypadku emisja akustyczna w postaci fal sprężystych generowana jest przez powierzchniowe i wewnętrzne nieciągłości w materiale ścianki, spoinach i elementach badanego urządzenia, podlegających działaniu bodźca w postaci obciążenia (np. ciśnienia) w trakcie badania, co jest wynikiem wyzwolenia energii w materiale.



Rys. 1. Hydroakumulator w siłowni wiatrowej

## BADANIA ZASTĘPCZE HYDROAKUMULATORÓW WYKONYWANE SĄ JAKO BADANIA LABORATORYJNE UDT PRZEZ CENTRALNE LABORATORIUM DOZORU TECHNICZNEGO (CLDT) W ZAKRESIE POSIADANEJ AKREDYTACJI ZGODNIE Z PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02.

### PRZEPISY PRAWNE

Badania techniczne, które należy wykonać w ramach inspekcji hydroakumulatorów, określa rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu (Dz.U. 2022 poz. 68) [1].

Rewizję wewnętrzną zbiornika, tj. ocenę stanu technicznego hydroakumulatora, wykonuje się w na podstawie:

- oceny wizualnej stanu hydroakumulatora od strony zewnętrznej,
- oceny wizualnej połączeń rozłącznych i nierozłącznych,
- oceny wizualnej stanu technicznego osprzętu zabezpieczającego i ciśnieniowego,
- badania metodą emisji akustycznej (AT).

Poniżej przedstawiono zapisy nowego rozporządzenia [1]. W odniesieniu do rewizji wewnętrznej hydroakumulatorów utrzymano możliwość zastąpienia oceny wizualnej stanu ścianek hydroakumulatora od strony wewnętrznej innymi badaniami (tab. 1).

Tabela 1. Zapisy rozporządzenia w zakresie rewizji wewnętrznej

Rozdział 2 „Rodzaje, zakres i terminy badań technicznych”	
§ 21.1.	W toku eksploatacji urządzeń ciśnieniowych przeprowadzane są badania techniczne: <ol style="list-style-type: none"> <li>odbiorcze – w warunkach gotowości do pracy;</li> <li>okresowe – w terminach określonych dla danego rodzaju urządzenia w załączniku nr 1 do rozporządzenia;</li> <li>doraźne – wynikające z bieżących potrzeb, w szczególności eksploatacyjne, powypadkowe, poawaryjne lub wykonywane w ramach nadzoru i kontroli, o których mowa w art. 37 pkt. 1 ustawy z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym.</li> </ol>
§ 21.4.	Badania okresowe i doraźne są wykonywane jako: <ol style="list-style-type: none"> <li>rewizje wewnętrzne;</li> <li>próby ciśnieniowe;</li> <li>rewizje zewnętrzne.</li> </ol>
§ 22.1.	Rewizja wewnętrzna obejmuje ocenę wizualną stanu ścianek urządzenia ciśnieniowego, jego połączeń rozłącznych i nierozłącznych oraz osprzętu zabezpieczającego i osprzętu ciśnieniowego.
§ 22.2.	W technicznie uzasadnionych przypadkach, po uzgodnieniu z organem właściwej jednostki dozoru technicznego, ocena wizualna, o której mowa w ust. 1, może być uzupełniona lub zastąpiona innymi badaniami.
§ 30.1.	Eksploatujący przygotowuje urządzenie ciśnieniowe do badań technicznych w zakresie umożliwiającym ich przeprowadzenie.
§ 30.4.	Eksploatujący przygotowuje urządzenia ciśnieniowe do badań, o których mowa w ust. 1 i 2, w sposób zapewniający bezpieczeństwo osób wykonujących badania oraz zapewnia obsługę techniczną do ich wykonania.

W załączniku nr 1 do ww. rozporządzenia zamieszczono tabelę określającą „Formy dozoru technicznego i maksymalne terminy badań technicznych” (tab. 2).

Tabela 2. Formy dozoru technicznego i maksymalne terminy badań technicznych – hydroakumulatory (zał. 1 rozporządzenia [1])

Lp.	Rodzaj urządzenia	Formadozoru rewizja zewnętrzna	Terminy badań			
			rewizja zewnętrzna	rewizja wewnętrzna	próba ciśnieniowa	
1	2	3	4	5	6	
67.	Hydroakumulatory	bezprzeponowe	pełny	2 lata	6 lat	-
68.		przeponowe	pełny	2 lata	10 lat	-

Rozporządzenie [1] określa możliwość uzgodnienia z UDT wykonania badań zastępczych. Aby przeprowadzić zastępowanie badań w zakresie urządzeń technicznych, należy złożyć dokumentację:

- wniosek zawierający techniczne uzasadnienie zgodne z § 22 ust. 2,
- kartę identyfikacji\* czynników degradacji, która zapewni syntetyczne zestawienie informacji, umożliwiając w efekcie dobór zastępczych metod badań (wzór karty został opracowany przez UDT).

\*Kartę identyfikacji, wypełnioną dla pojedynczego urządzenia, należy załączyć do wniosku, natomiast dla urządzeń, które są zgrupowane i nie różnią się informacjami zawartymi w karcie (poza numerem fabrycznym), można wypełnić jedną zbiorczą kartę.

Na podstawie nadesłanego, uzasadnionego wniosku wraz z załącznikami, pozytywnie przeanalizowanego, możliwe jest wydanie zgody na wykonanie **badania zastępczych**. Można wówczas wizualną ocenę stanu ścianek od strony wewnętrznej hydroakumulatora zastąpić badaniem **metodą emisji akustycznej**, jeżeli analiza przedłożonej dokumentacji nie wykazała inaczej.

### WYMAGANIA NORMATYWNE DLA BADAŃ

Zgoda na badania zastępcze hydroakumulatorów metodą emisji akustycznej zawiera informacje na temat wymaganych norm badawczych.

#### Najważniejsze dokumenty normatywne dotyczące metody badawczej AE dla hydroakumulatorów

- PN-EN 13554:2011 - Badania niszczące. Emisja akustyczna. Zasady ogólne [2],
- PN-EN 14584:2013-07 - Badania niszczące. Badania emisją akustyczną. Sprawdzenie metalowych urządzeń ciśnieniowych podczas próby odbiorczej. Planarna lokalizacja źródeł AE [3],
- PN-EN ISO 16148:2016-08 - Butle do gazów. Bezszwowe stalowe butle i zbiorniki rurowe do gazów wielokrotnego napełniania. Badania metodą emisji akustycznej (AT) i uzupełniające badania ultradźwiękowe (UT) w kontroli i badaniach okresowych [4],
- ASME BPVC.V-2021 „Article 12 - Acoustic emission examination of metallic vessels during pressure testing” [5].

### Ujednoczenie stosowanej terminologii

- PN-EN 1330-9: 2017-09 - Badania niszczące. Terminologia. Część 9: Terminy stosowane w badaniach emisją akustyczną [6]

### Wymagania dotyczące wyposażenia pomiarowo-badawczego

- PN-EN 13477-1:2002 - Badania niszczące. Emisja akustyczna. Charakteryzowanie aparatury. Część 1: Opis aparatury [7]
- PN-EN 13477-2:2022-03 - Badania niszczące. Badania emisją akustyczną. Charakteryzowanie aparatury. Część 2: Weryfikacja działania [8]

### Kwalifikacje, jakie powinien posiadać personel wykonujący badania

- PN-EN ISO 9712:2022-09 - Badania niszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań niszczących [9]

### METODYKA BADAŃ AE DLA HYDROAKUMULATORÓW

Normy określają wymagania dotyczące obciążania badanych urządzeń poprzez podnoszenie ciśnienia oraz kryteria akceptacji wyników badań metodą emisji akustycznej.

**Ustalając występujące w danym urządzeniu mechanizmy degradacji oraz miejsca ich rzeczywistego i potencjalnego występowania, należy wziąć pod uwagę istnienie zjawisk oraz ich wpływ na urządzenie, np. obciążenia cykliczne i wibracje lub uderzenia hydrauliczne, i ustalić wpływ destrukcyjny na materiał. Uderzenie hydrauliczne powoduje gwałtowny wzrost naprężeń i przyczynia się do zmęczenia materiału.**

Zgodnie z klasyfikacją aktywności źródeł emisji akustycznej przedstawionych w tabeli 2 wynik badania uznaje się za:

- POZYTYWNY, jeżeli dla danego hydroakumulatora nie zlokalizowano żadnych źródeł AE lub zlokalizowano źródła AE spełniające tylko kryteria źródła mało istotnego klasy 1,
- NEGATYWNY, jeżeli dla danego hydroakumulatora zlokalizowano źródła AE spełniające kryteria, co najmniej źródła aktywnego klasy 2 (uzupełnia się badania metodą emisji akustycznej innymi badaniami niszczącymi), a w przypadku wykrycia i lokalizacji bardzo aktywnych źródeł AE klasy 3 wstrzymuje się eksploatację urządzenia technicznego.



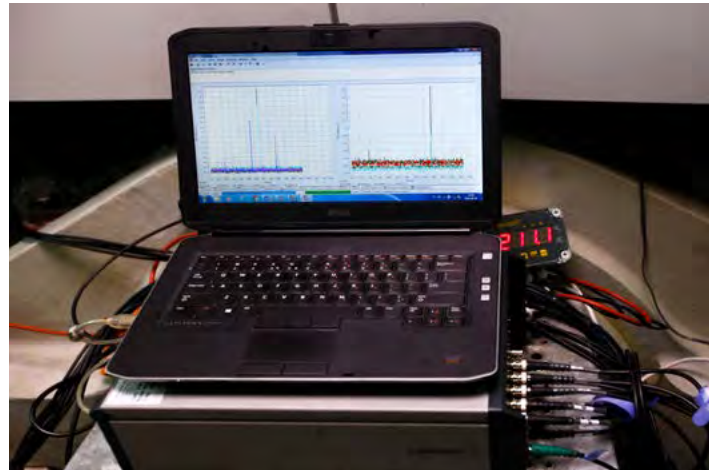
Podczas badania urządzenia stosuje się jednoczesne obciążanie wszystkich hydroakumulatorów zlokalizowanych na siłowni wiatrowej z wykorzystaniem układu hydraulicznego. Schemat podnoszenia ciśnienia w trakcie badania metodą emisji akustycznej przedstawiono na wykresie (rys. 1). Przed badaniem eksploatujący, na podstawie analizy warunków pracy urządzeń przygotowanych do badań, określa maksymalne ciśnienie robocze z ostatnich 12 miesięcy pracy hydroakumulatorów. Następnie, korzystając z przedstawionego schematu, uzyskuje się właściwy schemat podnoszenia ciśnienia w trakcie badania metodą AE.

## PRZYKŁAD

Maksymalne ciśnienie robocze, które wystąpiło na urządzeniu w ciągu ostatnich 12 miesięcy, miało wartość 200 bar.

Badanie jest przeprowadzane z sukcesywnie podnoszonym ciśnieniem według wykresu (rys. 3).

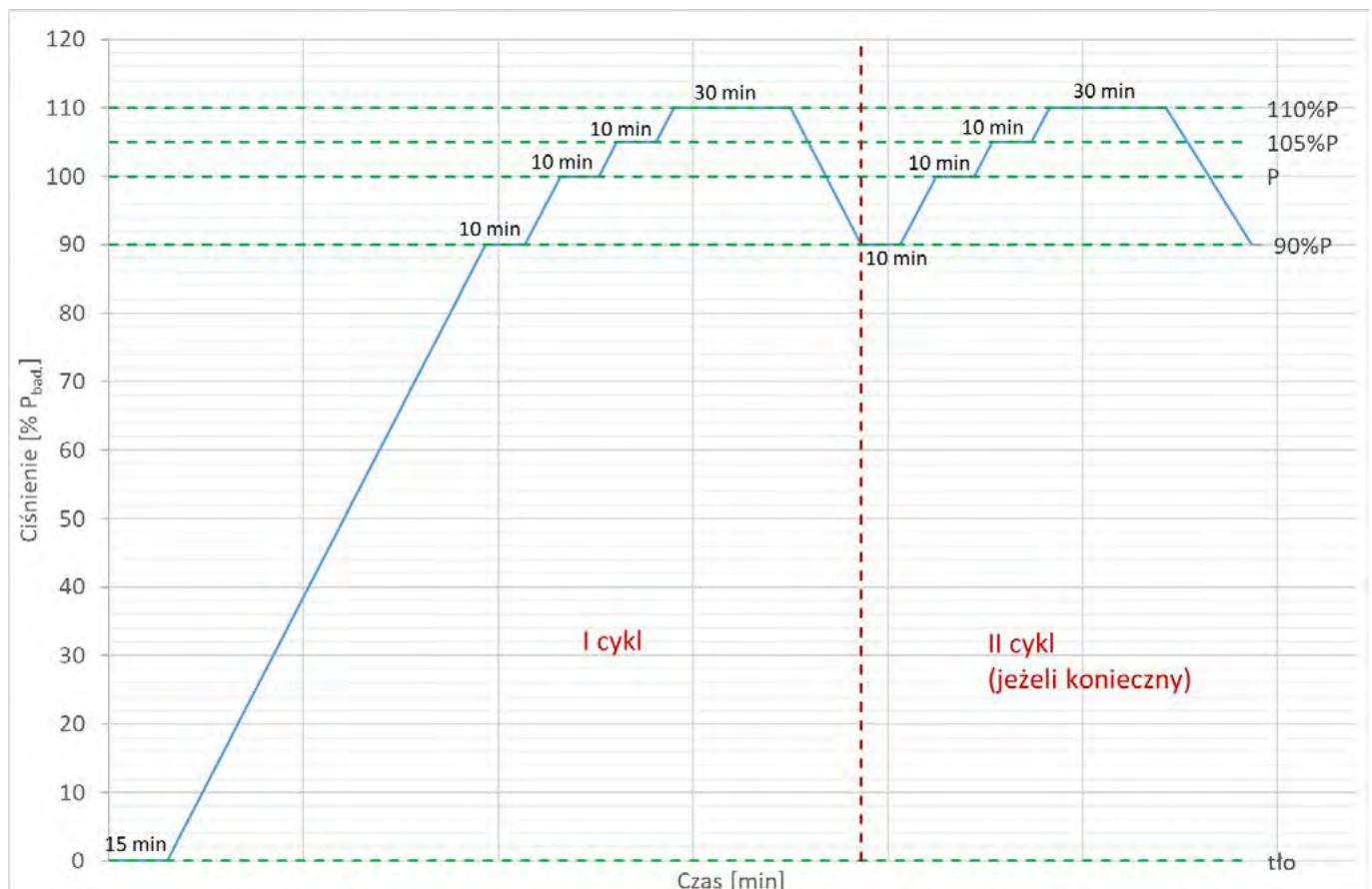
- 0% = 0 bar
- 90% z 200 bar ( $P_{\text{max.rob. z 12 mies.}}$ ) = 180 bar
- 100% z 200 bar ( $P_{\text{max.rob. z 12 mies.}}$ ) = 200 bar
- 105% z 200 bar ( $P_{\text{max.rob. z 12 mies.}}$ ) = 210 bar
- 110% z 200 bar ( $P_{\text{max.rob. z 12 mies.}}$ ) = 220 bar



Rys. 2. Komputerowy zestaw do badania i analizy danych dla metody emisji akustycznej

Tabela 2. Klasyfikacja aktywności źródeł emisji akustycznej

Klasyfikacja aktywności źródeł emisji akustycznej wg PN-EN 13554:2011 i PN-EN 14584:2013-07		
Klasa źródła	Definicja	Zalecane działania
1	Źródło mało istotne	Nie są wymagane dalsze działania. Źródło do uwzględnienia w następnych badaniach.
2	Źródło aktywne	Zaleca się badanie innymi metodami nieniszczącymi, jeżeli źródło AE jest powiązane z charakterystycznymi elementami urządzenia ciśnieniowego (np.: spiny króćców, uchwyty itd.).
3	Źródło bardzo aktywne	Zanim urządzenie ciśnieniowe zostanie włączone do eksploatacji, powinna być przeprowadzona dalsza ocena innymi odpowiednimi metodami badań nieniszczących.



Rys. 3. Schemat obciążania obiektu – podnoszenia ciśnienia w trakcie badania metodą emisji akustycznej



## OBIEKTY BADANE

Obecnie większość siłowni wiatrowych wyposażona jest w układy hydrauliczne zapewniające między innymi możliwość sterowania pozycją łopát czy aktywacją hamulca. Jednym z elementów takiego układu hydraulicznego jest hydroakumulator, który ma za zadanie gromadzić energię potencjalną ciśnienia oraz kompensować wahania ciśnienia.

W turbinach wiatrowych stosuje się różne rodzaje hydroakumulatorów, które różnią się sposobem rozdzielania czynników roboczych. Najczęściej stosowane są hydroakumulatory pęcherzowe (przeponowe), dużą grupę stanowią też urządzenia tłokowe (bezprzeponowe). Zasadniczo czynnikiem roboczym jest z jednej strony azot, a z drugiej olej hydrauliczny.

W zależności od producenta oraz typu turbiny wiatrowej stosuje się różne rozwiązania w zakresie liczby hydroakumulatorów, ich pojemności oraz parametrów pracy.



**Wśród wielu parametrów, którymi różnią się hydroakumulatory, należy wymienić te, które mogą wpłynąć na prowadzenie badania metodą emisji akustycznej, tj.:**

- typ i rodzaj hydroakumulatora,
- pojemność,
- materiał,
- nominalna grubość ścianki,
- minimalna grubość ścianki,
- ciśnienie dopuszczalne,
- maksymalne ciśnienie robocze.

Obecnie większą część badanych zbiorników stanowią hydroakumulatory pęcherzowe, które najczęściej występują w jednym z trzech układów (tab. 3 – Nr 1).

HYDROAKUMULATORY PĘCZERZOWE			
LICZBA HYDROAKUMULATORÓW NA WIEŻY WIATROWEJ	4	5	6
POJEMNOŚĆ	3 x 20 l 1 x 57 l	4 x 20 l 1 x 32 l	4 x 20 l lub 24,5 1 x 32 l 1 x 3,5 l

Coraz liczniejszą grupę stanowią również hydroakumulatory tłokowe, które występują w kilku różnych układach (Tab. 3 – Nr 2) od 5 do 11 szt. na jednej wieży wiatrowej. Często posiadają podwójny układ hydrauliczny pracujący na odmiennych parametrach ciśnienia.

Każdy rok przynosi kolejne, jeszcze niebadane rozwiązania układów hydraulicznych, stosowane w „młodszych” siłowniach wiatrowych. UDT każdorazowo oferuje możliwość wykonania badań testowych, w celu dopracowania optymalnego modelu wsparcia serwisowego przy spełnieniu wymagań dokumentów odniesienia.

Tabela 3. Badane zestawy hydroakumulatorów zlokalizowanych na siłowni wiatrowej

Nr	Typ hydroakumulatora	Pojemność [m³]	Ciśnienie dopuszczalne [bar]	Ciśnienie robocze [bar]	Liczba sztuk
1	Pęcherzowy	0,02	330	200	4
		0,032	330	200	1
		0,0035	250	200	1
2	Tłokowy	0,02	300	245	9
		0,012	300	245	1
		0,006	90	80	1



**Pierwsze badanie zastępcze hydroakumulatorów metodą emisji akustycznej zrealizowano w kwietniu 2018 r. Do połowy 2023 r. przebadano metodą emisji akustycznej w ramach badań zastępczych ponad 3500 sztuk hydroakumulatorów zlokalizowanych w ponad 650 siłowniach wiatrowych. Badania UDT metodą AE hydroakumulatorów obejmują różne typy i producentów tych urządzeń.**

## PROCEDURY I POTENCJAŁ BADAŃ AE

Sprawną realizacją badań zastępczych przez CLDT wsparta jest przez odpowiednie wytyczne i instrukcje UDT. Ujednolicają one podejście dotyczące zarówno procedowania spraw formalno-prawnych, jak i samego badania z wykorzystaniem emisji akustycznej.

W skrócie przebieg postępowania można opisać – jak poniżej.

- Eksploatujący występuje z wnioskiem opatrzonym załącznikami do właściwego terenu oddziału/biura UDT.
- Eksploatujący otrzymuje zgodę na badania zastępcze, jeżeli postępowanie nie wykazało braku możliwości wykonania takich badań.
- Wraz ze zgodą przekazane są warunki wykonania badania metodą emisji akustycznej (AE). Według wytycznych UDT do badania zastępczego hydroakumulatorów na siłowniach wiatrowych zalecana jest metoda AE.
- Eksploatujący każdorazowo dla danego urządzenia lub grupy urządzeń zlokalizowanych na danej farmie wiatrowej obowiązany jest wystąpić z wnioskiem o zgodę na badania zastępcze. Rozporządzenie nie przewiduje „automatycznego” zastępowania oceny wizualnej.

Badania realizowane są według ustalonego pomiędzy UDT i eksploatującym lub wskazanym przez niego serwisem harmonogramu badań. Pomimo tego, że UDT posiada wiele systemów do badań AE oraz ponad trzydziestoosobowy personel badawczy posiadający kwalifikacje potwierdzone odpowiednimi certyfikatami, zaleca się rozpoczęcie procedury badań zastępczych co najmniej trzy miesiące przed upływem terminu decyzji dopuszczającej urządzenia do eksploatacji. UDT wypracował system angażujący wiele osób na różnych etapach, który pozwala po badaniu wykonać część czynności przez osoby bezpośrednio nie uczestniczące w badaniu i uzyskać protokół z badań metodą emisji akustycznej w dniu badania. W przypadku pozytywnego wyniku badań, umożliwia to wystawienie decyzji dopuszczającej do eksploatacji, bez konieczności przeprowadzenia oddzielnie badania AE i oddzielnie czynności inspekcyjnych.

W składzie zespołu wykonującego czynności na turbinie wiatrowej znajduje się co najmniej jedna osoba posiadająca odpowiednie kwalifikacje, aby wykonać ważne formalnie badanie metodą emisji akustycznej, oraz co najmniej jedna osoba posiadająca odpowiednie szkolenie i upoważnienie, aby przeprowadzić czynności inspekcyjne i wydać ważną decyzję administracyjną. W skład zespołu wchodzi też osoby pracujące zdalnie, które mają odpowiednie kwalifikacje do oceny i autoryzacji wyników. Protokół badania metodą emisji akustycznej wystawiany jest zgodnie z zasadami określonymi w certyfikacie akredytacji wydanym przez PCA dla laboratorium badawczego.



## Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z 17.12.2021 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych podlegających dozorowi technicznemu (Dz.U. z 2022 poz. 68) <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20220000068/O/D20220068.pdf>.
2. PN-EN 13554:2011 - Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Zasady ogólne.
3. PN-EN 14584:2013-07 - Badania nieniszczące. Badania emisją akustyczną. Sprawdzenie metalowych urządzeń ciśnieniowych podczas próby odbiorczej. Planarna lokalizacja źródeł AE.
4. PN-EN ISO 16148:2016-08 - Butle do gazów. Bezszywne stalowe butle i zbiorniki rurowe do gazów wielokrotnego napełniania. Badania metodą emisji akustycznej (AT) i uzupełniające badania ultradźwiękowe (UT) w kontroli i badaniach okresowych.
5. ASME BPVC.V-2021 „Article 12 - Acoustic emission examination of metallic vessels during pressure testing”.
6. PN-EN 1330-9: 2017-09 - Badania nieniszczące. Terminologia. Część 9: Terminy stosowane w badaniach emisją akustyczną.
7. PN-EN 13477-1:2002 - Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Charakteryzowanie aparatury. Część 1: Opis aparatury
8. PN-EN 13477-2:2022-03 - Badania nieniszczące. Badania emisją akustyczną. Charakteryzowanie aparatury. Część 2: Weryfikacja działania
9. PN-EN ISO 9712:2022-09 - Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących.