

Dariusz Pleban, Grzegorz Szczepański  
Jan Radosz, Łukasz Kapica

# RAPORT

z badań uciążliwości hałasu  
turbin wiatrowych  
ze względu na możliwość  
realizacji przez pracowników  
ich podstawowych zadań

Dariusz Pleban, Grzegorz Szczepański,  
Jan Radosz, Łukasz Kapica

# RAPORT

z badań uciążliwości hałasu  
turbin wiatrowych  
ze względu na możliwość  
realizacji przez pracowników  
ich podstawowych zadań

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej.

Zadanie nr 2.SP.02

pt. Badanie uciążliwości hałasu słyszalnego niskoczęstotliwościowego turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracowników ich podstawowych zadań na stanowiskach pracy zlokalizowanych w pobliżu farm wiatrowych

Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy: dr hab. inż. Dariusz Pleban, prof. Instytutu, mgr inż. Grzegorz Szczepański, dr inż. Jan Radosz, mgr Łukasz Kapica

Opracowanie redakcyjne: Kamil Jach

Opracowanie graficzne i projekt okładki: Jolanta Maj  
Ilustracje: bigstockphoto

ISBN: 978-83-7373-392-3

**CIOP**  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa  
tel. (48-22) 623 36 98, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

# Spis treści

1.	Podstawa prawna .....	5
2.	Wprowadzenie .....	5
3.	Metoda badań .....	7
4.	Ocena uciążliwości hałasu turbin wiatrowych na stanowiskach pracy w pobliżu farm wiatrowych .....	9
5.	Ocena uciążliwości hałasu turbin wiatrowych w warunkach laboratoryjnych .....	13
6.	Ocena uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań.....	16
7.	Propagacja hałasu turbin wiatrowych .....	19
8.	Zalecenia dotyczące stref uciążliwości hałasu turbin wiatrowych .....	20
9.	Podsumowanie .....	22
10.	Bibliografia .....	24



## Podstawa prawna

W latach 2020-2022 Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB) koordynował realizację i był jednym z wykonawców programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” – V etap, ustanowionego Uchwałą Nr 80/2019 Rady Ministrów z dnia 13 sierpnia 2019 r.

Ww. program jest podstawą prawną w odniesieniu do tytułowego zadania (2.SP.02, okres realizacji: 01.01.2022 r. – 31.12.2022 r.), na podstawie wyników którego sporządzono ten raport.

(Celem zadania było zbadanie wpływu hałasu turbin wiatrowych (hałasu słyszalnego i hałasu niskoczęstotliwościowego), jako czynnika uciążliwego, na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań.

## Wprowadzenie

Wzrost zapotrzebowania na energię został spowodowany rewolucją naukowo-techniczną, która dodatkowo zbiegła się z ponad trzykrotnym wzrostem populacji ludzkiej na Ziemi w latach 1850-1970. W okresie tym całkowita konsumpcja energii zwiększyła się aż dwunastokrotnie. W przemyśle wzrost ten był jeszcze większy, bo ponad dwudziestokrotny [1]. Z początkiem lat 70. ubiegłego wieku tendencja ta nieznacznie osłabła, ale nadal wykazuje charakter wykładniczy. Dotyczy to także krajowego rynku energetycznego. Można na nim zaobserwować systematyczny wzrost popytu m.in. na energię elektryczną i, według prognoz opracowanych przez różne instytucje, do 2040 r. może on osiągnąć w Polsce poziom 230 TWh rocznie [2].

Wspomniany, systematyczny wzrost zapotrzebowania na energię, jak również towarzyszący temu wzrost zanieczyszczeń środowiska, będący skutkiem stosowania głównie paliw kopalnych, spowodował wzrost wykorzystania energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego z 2021 r. [3] udział energii ze źródeł odnawialnych w krajowym pozyskaniu energii pierwotnej ogółem wzrósł 19,74% w 2019 r. do 21,60% w 2020 r. Energia pozyskana ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2020 r. pochodziła w przeważającym stopniu z biopaliw stałych (71,61%), energii wiatru (10,85%) i z biopaliw ciekłych (7,79%).

Stosowanie turbin wiatrowych do generowania energii elektrycznej posiada wiele oczywistych zalet, m.in. takich jak brak kosztów paliwa podczas eksploatacji, brak szkodliwych zanieczyszczeń, w tym CO<sub>2</sub> [4, 5]. Pomimo zalet, korzystanie z energii wiatru (turbin wiatrowych) wywołuje stale szereg pytań i wątpliwości. Wciąż pozostają aktualne pytania z zakresu oddziaływania farm wiatrowych na człowieka. Oddziaływanie to obejmuje wiele czynników związanych z funkcjonowaniem farm wiatrowych, a w szczególności emitowany przez nie hałas. A pamiętajmy, że, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [6], w środowisku pracy hałas definiuje się jako każdy niepożądany dźwięk, który może być albo uciążliwy, albo szkodliwy dla zdrowia lub zwiększać ryzyko wypadku przy pracy. Hałas, poza oddziaływaniem na narząd słuchu, jako stresor może przyczyniać się do rozwoju różnego typu chorób (np. choroby nadciśnieniowej, choroby wrzodowej, nerwic), powodować rozproszenie uwagi, utrudniać pracę i zmniejszać jej wydajność [7, 8]. Zgodnie z definicją ISO/TS 15666 [9] uciążliwość wynikająca z ekspozycji na hałas jest indywidualną, niekorzystną reakcją osoby, wpływającą na niezadowolenie, niepokój, zirytowanie, zakłócenie spokoju. Światowa Organizacja Zdrowia wiąże uciążliwość hałasu z niekorzystnym wpływem na zdrowie i definiuje jako doświadczenie wielu różnych reakcji, takich jak gniew, rozczarowanie, niezadowolenie, wycofanie, bezradność, depresja, lęki, rozproszenie uwagi, wyczerpanie [10].

W związku z powyższym w CIOP-PIB zrealizowano zadanie, którego celem było zbadanie wpływu hałasu turbin wiatrowych, jako czynnika uciążliwego, na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań. W poniższym Raporcie przedstawiono uzyskane wyniki dotyczące uciążliwości hałasu turbin wiatrowych oraz stref uciążliwości hałasu turbin wiatrowych.

## Metody badań

Jak wykazują badania ankietowe prowadzone cyklicznie przez Europejską Fundację na Rzecz Poprawy Warunków Życia i Pracy (Eurofound) w Dublinie w ramach przeglądów warunków pracy, istnieje potrzeba przeprowadzenia oceny zagrożeń w środowisku pracy zarówno metodami obiektywnymi, jak i subiektywnymi. Subiektywne oceny zagrożeń są uwarunkowane cechami indywidualnymi pracowników, warunkami psychologicznymi ich pracy, a także poczuciem ryzyka zawodowego. Stanowią one pośrednią metodę oceny o zagrożeniach zawodowych oraz ich skutkach dla zdrowia i życia. Znaczenie badań subiektywnych wiąże się bezpośrednio z definicją zdrowia, przyjętą przez Światową Organizację Zdrowia WHO: *„zdrowie to nie tylko brak choroby czy ułomności, ale pełny dobrostan fizyczny, psychiczny i społeczny”*.

Zrealizowane badania, dotyczące uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracowników ich podstawowych zadań, objęły:

- **badanie ankietowe** dotyczące oceny uciążliwości hałasu turbin wiatrowych na zlokalizowanych w pobliżu farm wiatrowych stanowiskach pracy,
- **badanie ankietowe** dotyczące oceny uciążliwości odtwarzanych w warunkach laboratoryjnych hałasów turbin o poziomach dźwięku A wynoszących 30 decybeli (dB), 40 dB oraz 50 dB,
- **badania laboratoryjne** uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań.

Powyższe badania zostały pozytywnie zaopiniowane przez Komisję Etyki Badań Naukowych z Udziałem Ludzi przy Instytucie Nauk o Żywieniu Człowieka SGGW w Warszawie (uchwała nr 27/2021 z dnia 19.07.2021 r.).





W celu określenia uciążliwości hałasu turbin wiatrowych na zlokalizowanych w pobliżu farm wiatrowych stanowiskach pracy opracowano ankietę, która stanowiła narzędzie badawcze. Opracowując ankietę kierowano się wytycznymi i zasadami określonymi w ISO/TS 15666:2003 [9].

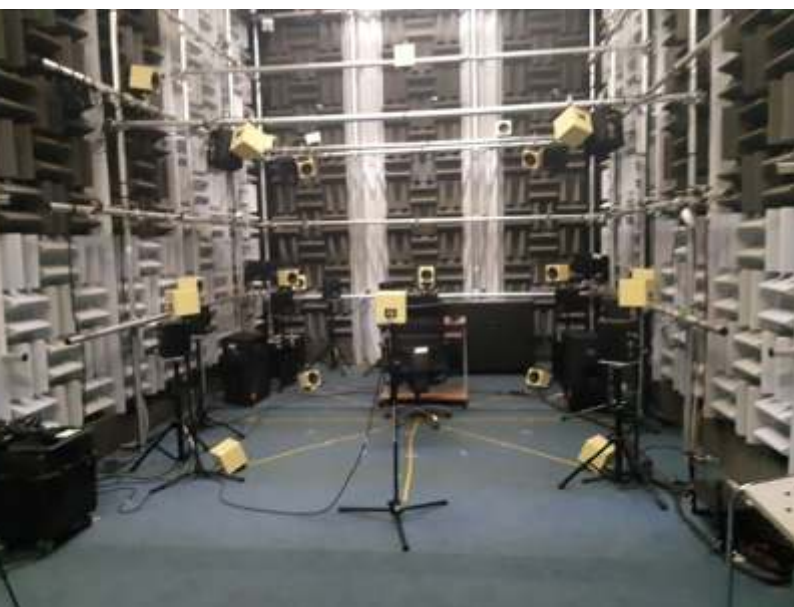
Realizując badania wpływu hałasu turbin wiatrowych, jako czynnika uciążliwego, na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań, za podstawę przyjęto zasadę, że obciążenie psychiczne to stan organizmu, który jest konsekwencją wykonywania zadań w określonym środowisku przez człowieka. Na poziom obciążenia psychicznego wpływają zatem cechy samego zadania – jego trudność, złożoność, rodzaj sprawności i funkcji zaangażowanych przy jego wykonaniu. Istnieją różne metody oceny obciążenia psychicznego. Jedną z nich polega na wykorzystaniu metod badających poziom sprawności poznawczej. Zmiany wyników w takich badaniach pozwalają oszacować obciążenie psychiczne. Z kolei różne warunki akustyczne w środowisku pracy wywołują różny poziom obciążenia psychicznego, czego skutkiem są różnice w wykonywaniu testów sprawności poznawczej. **W związku z tym do badań sprawności poznawczej wykorzystano 2 testy psychologiczne z Wiedeńskiego Systemu Testów: test wydajności pracy ALS oraz test uwagi i koncentracji COG Kognitron.**

Opracowano także stanowisko laboratoryjne do badań uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań umożliwiające odtwarzanie hałasów turbin wiatrowych. Stanowisko to zostało zestawiono w komorze do badań akustycznej Instytutu i bazuje ono na wielokanałowym systemie odtwarzania dźwięków wykorzystującym sieć DANTE (w której transmisja cyfrowych sygnałów akustycznych realizowana jest poprzez sieć Ethernet). W skład stanowiska (rys. 1) wchodzi m.in.:

- 16 aktywnych studyjnych monitorów pola bliskiego Avantone MixCube o zakresie przenoszenia od 90 Hz do 17 kHz,
- 2 głośniki niskotonowe LS600 o paśmie przenoszenia od 30 Hz do 200 Hz,
- 1 laboratoryjne źródło infradźwięków o paśmie przenoszenia od 8 Hz do 70 Hz.

W trakcie badań laboratoryjnych odtwarzano na stanowisku badawczym 9 różnych wirtualnych środowisk akustycznych reprezentujących hałasy trzech różnych typów turbin wiatrowych o poziomach dźwięku A wynoszących: 30 dB, 40 dB oraz 50 dB. Podczas ekspozycji na każde z tych wirtualnych środowisk akustycznych badane osoby

wykonywały na laptopie testy z Wiedeńskiego Systemu Testów – test wydajności pracy ALS oraz test uwagi i koncentracji COG Kognitron, a także dokonywały subiektywnej oceny odtwarzanych hałasów turbin wiatrowych.

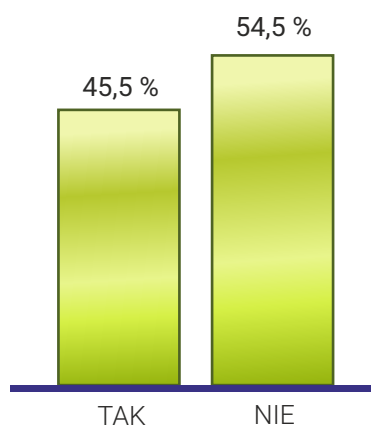


Rys. 1. Stanowisko do laboratoryjnych badań uciążliwości hałasu turbin wiatrowych

# Ocena uciążliwości hałasu turbin wiatrowych na stanowiskach pracy w pobliżu farm wiatrowych

Badanie ankietowe dotyczące uciążliwości hałasu turbin wiatrowych na stanowiskach pracy znajdujących się w pobliżu farm wiatrowych, tj. w odległości do 3 km przeprowadzono na grupie 200 pracowników. Wśród 200 badanych osób było 103 mężczyzn oraz 97 kobiet [11].

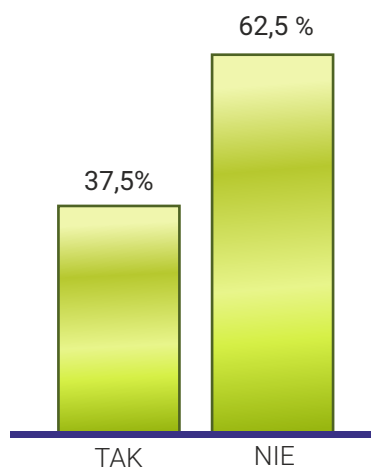
W wyniku badania stwierdzono, że hałas turbin wiatrowych jest słyszalny na stanowiskach pracy zajmowanych przez 45,5% respondentów. Natomiast ponad połowa badanych osób (54,5%) oznajmiła, że nie słyszy na stanowisku pracy hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe (rys. 2)



**Czy Pan/Pani słyszy hałas turbin wiatrowych na stanowisku pracy?**

Rys. 2. Wynik odpowiedzi na pytanie „Czy Pan/Pani słyszy hałas turbin wiatrowych na stanowisku pracy?”

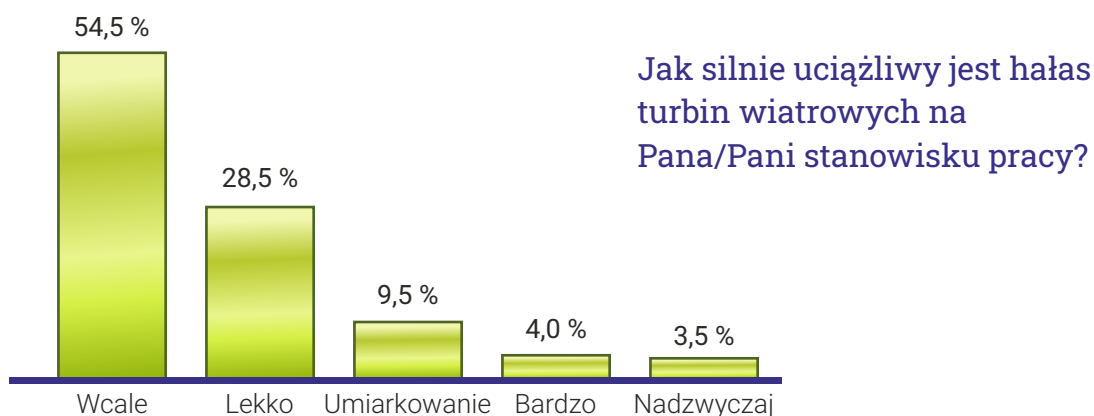
Na pytanie „Czy hałas turbin wiatrowych jest uciążliwy dla Pana/Pani podczas wykonywania prac zawodowych?” blisko 2/3 badanych osób (62,5%) stwierdziło, że hałas turbin wiatrowych nie jest uciążliwy podczas wykonywania prac zawodowych (rys. 3).



**Czy hałas turbin wiatrowych jest uciążliwy dla Pana/Pani podczas wykonywania prac zawodowych?**

Rys. 3. Wynik odpowiedzi na pytanie „Czy hałas turbin wiatrowych jest uciążliwy dla Pana/Pani podczas wykonywania prac zawodowych?”

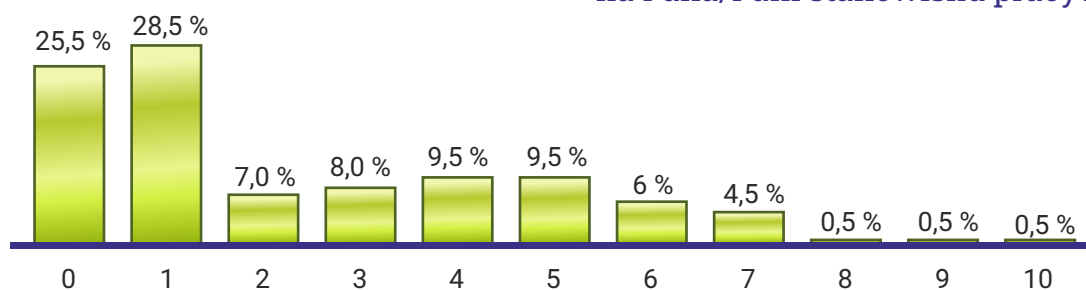
Każda z badanych osób dokonała oceny uciążliwości hałasu turbin wiatrowych na stanowisku pracy udzielając odpowiedzi na pytanie „Jak silnie uciążliwy jest hałas turbin wiatrowych na Pana/Pani stanowisku pracy?”. Udzielając odpowiedzi korzystano z pięciostopniowej skali opisującej uciążliwość, która obejmowała następujące odpowiedzi: wcale, lekko, umiarkowanie, bardzo, nadzwyczaj. Badane osoby oceniły uciążliwość hałasu turbin wiatrowych na stanowiskach pracy następująco (rys. 4): ponad połowa badanych osób (54,5%) uważa, że hałas emitowany przez turbiny wiatrowe nie jest uciążliwy na stanowisku pracy, zaś pozostała grupa badanych osób (45,5%) jest zdania, że hałas turbin wiatrowych jest uciążliwy na stanowisku pracy. Dla 28,5% badanych osób hałas ten jest lekko uciążliwy, a 9,5% badanych osób twierdzi, że hałas ten jest umiarkowanie uciążliwy. Z kolei tylko 7,5% uczestników badania hałas turbin wiatrowych oceniają jako bardzo uciążliwy (4%) lub nadzwyczaj uciążliwy (3,5%).



Rys. 4. Wyniki odpowiedzi w skali opisowej na pytanie „Jak silnie uciążliwy jest hałas turbin wiatrowych na Pana/Pani stanowisku pracy?”

Ponadto każdy uczestnik badania dokonał subiektywnej oceny hałasu według skali od 0 do 10, gdzie niższe wartości oznaczają hałas nieuciążliwy lub mało uciążliwy, wartości wyższe – hałas bardzo uciążliwy. Zdecydowana większość uczestników badania ocenia uciążliwość hałasu turbin wiatrowych jako niewielką. Łącznie 69,0% badanych wskazało oceny od 0 do 3, w tym: 25,5% wskazało ocenę 0; 28,5% ocenę 1; 7,0% ocenę 2; natomiast 8,0% ocenę 3. Oceny świadczące o przeciętnej uciążliwości hałasu emitowanego przez turbiny wiatrowe (oceny od 4 do 6) wskazało łącznie 25,0% badanych, w tym po 9,5% wskazało oceny 4 oraz 5, natomiast 6,0% ocenę 6. Wysoko uciążliwość hałasu turbin wiatrowych ocenia łącznie 6,0% respondentów, w tym 4,5% badanych wskazało ocenę 7, natomiast tylko po 0,5% respondentów wymieniło oceny 8, 9 oraz 10. Średnia ocena uciążliwości hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe w skali od 0 do 10 wyniosła 2,33, a więc stwierdzono niewielką uciążliwość hałasu turbin wiatrowych (rys. 5).

## Jak silnie uciążliwy jest hałas turbin wiatrowych na Pana/Pani stanowisku pracy?



Rys. 5. Wyniki odpowiedzi w skali liczbowej od 0 do 10 na pytanie „Jak silnie uciążliwy jest hałas turbin wiatrowych na Pana/Pani stanowisku pracy?”

W celu zróżnicowania badanej grupy dokonano podziału odległości stanowisk pracy od turbin wiatrowych. Uczestnicy badania wskazywali odległość stanowisk pracy od turbin wiatrowych. Na potrzeby badania wyznaczono następujące przedziały: stanowiska pracy w odległości do 0,5 km od turbin wiatrowych, stanowiska pracy w odległości od 0,5 do 1 km od turbin wiatrowych, stanowiska pracy w odległości od 1 do 2 km od turbin wiatrowych oraz stanowiska pracy w odległości od 2 do 3 km od turbin wiatrowych. W tab. 1 zamieszczono odpowiedzi na pytanie „Czy hałas turbin wiatrowych jest słyszalny na stanowisku pracy?” w zależności od odległości stanowiska pracy od farmy/turbiny wiatrowej.

Tab. 1. Odpowiedzi na pytanie „Czy hałas turbin wiatrowych jest słyszalny na stanowisku pracy?” w zależności od odległości stanowiska pracy od farmy/turbiny wiatrowej

Czy hałas turbin wiatrowych jest słyszalny na stanowisku pracy?		Odległość od farmy/turbiny wiatrowej				Ogółem
		mniej niż 0,5 km	od 0,5 do 1 km	od 1 do 2 km	od 2 do 3 km	
<b>TAK</b>	Częstość odpowiedzi, %	94,1	54,8	43,2	8	45,5
<b>NIE</b>	Częstość odpowiedzi, %	5,9	45,2	56,8	92	54,5

Z kolei w tab. 2 zestawiono odpowiedzi na pytanie dotyczące uciążliwości hałasu turbiny wiatrowej (tj. „Czy hałas turbiny wiatrowej jest uciążliwy dla Pana/Pani podczas wykonywania prac zawodowych?”) w zależności od odległości stanowiska pracy od turbiny. Analiza danych z tab. 2 wykazała, że odległość miejsca pracy od turbiny wiatrowej ma związek z oceną uciążliwości hałasu turbiny wiatrowej podczas wykonywania prac zawodowych:  $\chi^2(N = 200; 3) = 42,50$ ;  $p < 0,001$ ; współczynnik V Kramera = 0,46 wskazuje na umiarkowaną współzależność,  $Rho = 0,46$ ;  $p < 0,001$  wskazuje również na umiarkowaną zależność. Zależność ma kierunek dodatni zatem, im większa odległość od turbin wiatrowych, tym mniej ocen hałasu jako uciążliwego podczas wykonywania prac zawodowych.

Tab. 2. Odpowiedzi na pytanie „Czy hałas turbiny wiatrowej jest uciążliwy dla Pana/Pani podczas wykonywania prac zawodowych?” w zależności od odległości stanowiska pracy od farmy/turbiny wiatrowej

Czy hałas turbin wiatrowych jest uciążliwy dla Pana/Pani podczas wykonywania prac zawodowych?		Odległość od farmy/turbiny wiatrowej				Ogółem
		mniej niż 0,5 km	od 0,5 do 1 km	od 1 do 2 km	od 2 do 3 km	
<b>TAK</b>	Częstość odpowiedzi, %	67,6	54,8	40,5	4	39
<b>NIE</b>	Częstość odpowiedzi, %	32,4	45,2	59,5	96	61

Z podanych w tab. 2 częstości odpowiedzi można odczytać, że odsetek oceniających hałas turbin wiatrowych jako uciążliwy zmniejsza się sukcesywnie wraz ze zwiększeniem odległości od farmy/turbiny wiatrowej. W przypadku odległości do 0,5 km od farmy/turbiny wiatrowej 67,6% badanych ocenia hałas generowany przez turbiny jako uciążliwy. Natomiast zwiększenie odległości do minimum 2 km (strefa w granicach od 2 do 3 km od farmy/turbiny wiatrowej) skutkuje tym, że jedynie 4,0% respondentów uważa hałas turbin wiatrowych za uciążliwy podczas wykonywania obowiązków zawodowych. Wśród osób pracujących w odległościach od 0,5 do 1 km oraz od 1 do 2 km od farm/turbin wiatrowych odsetek osób uważających hałas turbin wiatrowych za nieuciążliwy podczas wykonywania prac zawodowych wynosi odpowiednio 45,2% oraz 59,5%.

# Ocena uciążliwości hałasu turbin wiatrowych w warunkach laboratoryjnych

Grupa 40 osób oceniła uciążliwość hałasów turbin wiatrowych o poziomach dźwięku A wynoszących 30 dB, 40 dB oraz 50 dB. Hałasy te były odtwarzane na stanowisku do laboratoryjnych badań uciążliwości hałasu turbin wiatrowych.

Badane osoby oceniały uciążliwość każdego z odtwarzanych hałasów turbin wiatrowych udzielając odpowiedzi na pytanie „Jak silnie uciążliwy jest hałas turbiny wiatrowej?”. Udzielając odpowiedzi korzystano zarówno z pięcio-stopniowej skali opisującej uciążliwość (która obejmowała następujące odpowiedzi: wcale, lekko, umiarkowanie, bardzo, nadzwyczaj) jak i skali liczbowej od 0 do 10, gdzie niższe wartości oznaczają hałas nieuciążliwy lub mało uciążliwy, wartości wyższe hałas bardzo uciążliwy.

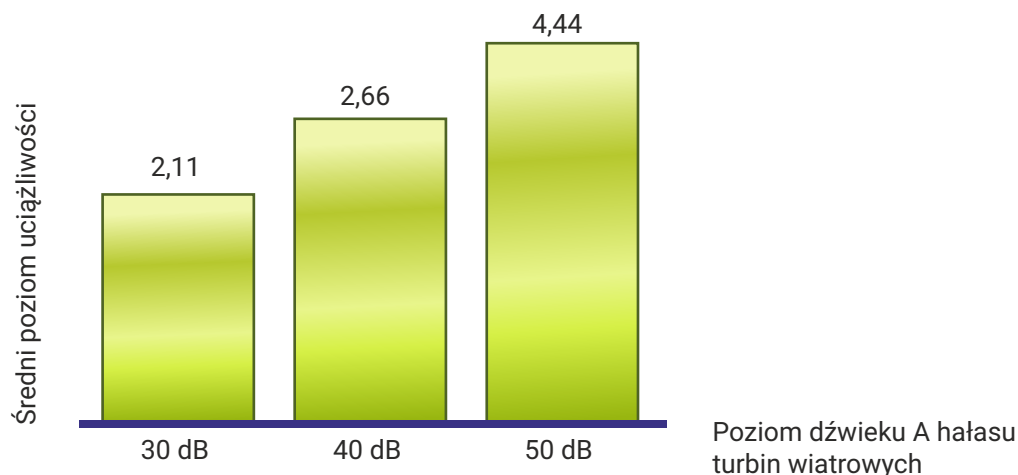
Hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 30 dB oceniono następująco: najwięcej osób (45% badanych osób) stwierdziło, że oceniany hałas jest lekko uciążliwy, dla 35% badanych osób oceniany hałas nie był wcale uciążliwy, co piąta osoba (20% badanych osób) oceniła hałas jako umiarkowanie uciążliwy. Nikt z badanych nie ocenił hałasu turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 30 dB jako bardzo lub nadzwyczaj uciążliwy. Natomiast wynik oceny tego hałasu z wykorzystaniem skali liczbowej od 0 do 10 jest następujący: zdecydowana większość badanych osób oceniła uciążliwość tego hałasu jako niewielką. Łącznie 77,5% badanych osób wskazało oceny od 0 do 3, w tym: 15% badanych osób wskazało ocenę 0, 40% badanych wskazało ocenę 1, 10% badanych osób wskazało ocenę 2 oraz 12,5% badanych osób wskazało ocenę 3. Oceny świadczące o przeciętnej uciążliwości hałasu (tj. ocenę od 4 do 6) wskazali pozostali uczestnicy (tj. 22,5% badanych osób), przy czym po 10% badanych osób wskazało oceny 4 i 6 oraz 2,5% badanych osób wskazało ocenę 5. Żadna z badanych osób nie oceniła hałasu jako wysoko uciążliwy (oceny od 7 do 10).



Z kolei w przypadku hałasu turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 40 dB uczestnicy badania ocenili jego uciążliwość następująco: ponad połowa badanych osób (52,5%) stwierdziło, że oceniany hałas jest lekko uciążliwy, po 20% badanych osób oceniło hałas odpowiednio jako wcale uciążliwy lub jako umiarkowanie uciążliwy, zaś pozostali badani (7.5%) ocenili hałas jako bardzo uciążliwy. Z kolei wynik oceny tego hałasu z wykorzystaniem skali liczbowej od 0 do 10 jest następujący: zdecydowana większość badanych osób (77,5% badanych osób) oceniła uciążliwość tego hałasu jako niewielką wskazując oceny od 0 do 3. W tej grupie badanych ocenę 0 podało 5% badanych osób, ocenę 1 podało 27,5% badanych osób, ocenę 2 podało 20% badanych osób, zaś ocenę 3 podało 25% badanych osób. Pozostali uczestnicy badania podali oceny wskazujące na przeciętną uciążliwość hałasu (ocenę 4 podało 10% badanych osób, ocenę 5 podało 2.5% badanych osób i ocenę 6 podało także 2,5% badanych osób) oraz wysoką ocenę uciążliwości hałasu (ocenę 7 podało 5% badanych osób i ocenę 8 podało 2,5% badanych osób).

Zdecydowanie wyżej została oceniona uciążliwość hałasu turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB. Ponad połowa badanych osób (55% badanych osób) oceniło hałas odpowiednio jako lekko uciążliwy (20% badanych osób) i umiarkowanie uciążliwy (35% badanych osób), blisko co trzeci badany (30% badanych osób) ocenił hałas jako bardzo uciążliwy, zaś tylko 15% badanych osób oceniło ten hałas jako wcale uciążliwy. Wyniki oceny tego hałasu z wykorzystaniem skali liczbowej od 0 do 10 były następujące: mniej niż połowa badanych osób (40%) oceniła uciążliwość tego hałasu jako niewielką podając ocenę od 0 do 3. W tej grupie badanych ocenę 0 podało 7,5% badanych osób, ocenę 1 podało też 7,5% badanych osób, ocenę 2 podało 15% badanych osób i ocenę 3 podało 10% badanych osób. Oceny wskazujące na przeciętną uciążliwość hałasu (tj. oceny od 4 do 6) podało łącznie 32,5% badanych osób, w tym 15% badanych osób podało ocenę 4, 10% badanych osób podało ocenę 5 i 7,5% badanych osób podało ocenę 6. W przypadku tego hałasu stwierdzono największy odsetek badanych osób, które oceniły uciążliwość hałasu jako wysoką – było to łącznie 27,5% badanych osób. W tej grupie po 10% badanych osób podało oceny 7 i 8, 5% badanych osób podało ocenę 9 i 2,5% badanych osób podało ocenę 10.

Z porównania uzyskanych średnich ocen uciążliwości hałasu turbin wiatrowych (z wykorzystaniem skali liczbowej od 0 do 10) wynika, że **wzrost poziomu dźwięku A hałasu turbin wiatrowych skutkuje zwiększeniem wyniku średniej oceny uciążliwości**. Rozpoczyna się ona od 2,11 w przypadku hałasu o poziomie dźwięku A wynoszącym 30 dB poprzez 2,66 w przypadku hałasu o poziomie dźwięku A wynoszącym 40 dB, do 4,44 w odniesieniu do hałasu o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB (rys. 6). Zatem wg badanych osób hałas turbin wiatrowych dopiero o poziomie 50 dB uznaje się jako hałas o przeciętnej uciążliwości. Hałas turbin wiatrowych o niższych poziomach został oceniony jako hałas o niewielkiej uciążliwości.



Rys. 6. Średni poziom uciążliwości (w skali liczbowej od 0 do 10) badanych w warunkach laboratoryjnych hałasów turbin wiatrowych

W ramach analiz statystycznych wyników wykonano m.in. test ANOVA dla prób zależnych w celu oceny różnic pomiędzy wynikami dla trzech wariantów. Wynik okazał się istotny statystycznie, a wielkość efektu duża:  $F(1,789 ; 67,979) = 30,557$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,45$ . Porównania wielokrotne Bonferroniego wykazały, że średni wynik w przypadku hałasu turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 30 dB różni się od średniego wyniku w przypadku hałasu turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 40 dB na poziomie tendencji statystycznej ( $p < 0,10$ ), natomiast od średniego wyniku w przypadku hałasu turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB różni się istotnie statystycznie ( $p < 0,001$ ). Z kolei różnica pomiędzy średnim wynikiem w przypadku hałasu turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 40 dB i średnim wynikiem w przypadku hałasu turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB również okazała się istotna statycznie ( $p < 0,001$ ).

Przeprowadzone analizy statystyczne wyników ankiety dotyczącej oceny subiektywnej uciążliwości hałasu turbin wiatrowych w warunkach laboratoryjnych wskazują, że **badane osoby jako najbardziej uciążliwe warunki oceniały hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB**. Hałas ten badane osoby oceniły w stopniu istotnym statystycznie, czyli jako bardziej uciążliwy od hałasów turbin wiatrowych o poziomach dźwięku A wynoszących odpowiednio 30 dB i 40 dB. Zostało to potwierdzone w przeprowadzonych analizach wyników – zarówno w analizie zbiorczej, jak i w analizie uwzględniającej kolejność występowania hałasów turbin wiatrowych podczas badań laboratoryjnych.



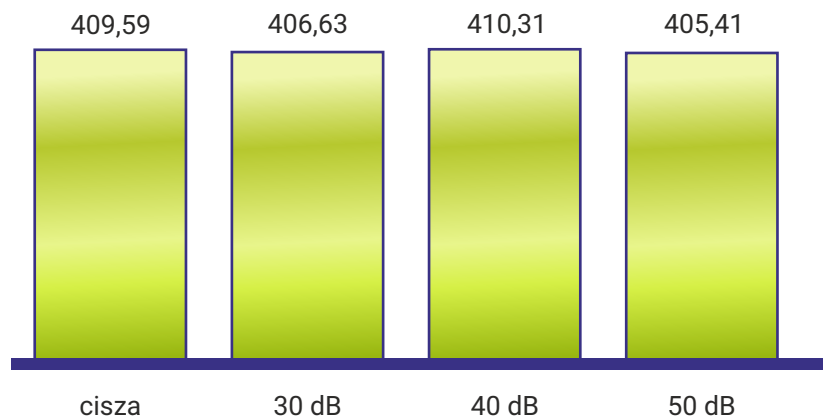
# Ocena uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań

Ocena uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań została przeprowadzona na grupie 50 osób, które podczas ekspozycji na odtwarzane hałasy turbin wiatrowych wykonywały na laptopie testy z Wiedeńskiego Systemu Testów – test wydajności pracy ALS oraz test uwagi i koncentracji COG Kognitron. W teście ALS prezentowane są następujące po sobie zadania polegające na dodawaniu liczb jednocyfrowych, a zadaniem osoby badanej jest wykonywanie działań jak najszybciej i jak najdokładniej. Głównym wskaźnikiem wykonania testu ALS jest zmienna „Liczba działań, które wykonano”. Natomiast test COG Kognitron polega na porównywaniu figur geometrycznych, a zadaniem osoby badanej jest porównanie prezentowanej abstrakcyjnej figury z figurami wzorcowymi i stwierdzenie czy są one identyczne. Głównym wskaźnikiem wykonania testu COG Kognitron jest zmienna „Średni czas poprawnego odrzucenia” (w sek.), tj. średni czas potrzebny osobie badanej do stwierdzenia, że prezentowana figura nie jest zgodna z żadną z figur wzorcowych. Badane osoby wykonywały testy ALS i COG Kognitron na stanowisku do laboratoryjnych badań uciążliwości hałasu turbin wiatrowych podczas ekspozycji na hałasy różnych typów turbin wiatrowych o poziomach dźwięku A wynoszących 30 dB, 40 dB i 50 dB oraz w warunkach ciszy.

Podczas badań odtwarzano hałasy trzech różnych typów turbin wiatrowych. Przeprowadzona analiza z wykorzystaniem testów U-Manna-Whitneya i H-Kruskala-Wallisa wykazała brak istotnych statystycznie różnic w zakresie wyników testu COG Kognitron pomiędzy grupami badanych biorących udział w badaniu z wykorzystaniem różnych typów turbin wiatrowych i w związku z tym analizy statystyczne wyników badań laboratoryjnych zostały prowadzone bez podziału na typ wykorzystywanej w badaniach laboratoryjnych turbiny wiatrowej.

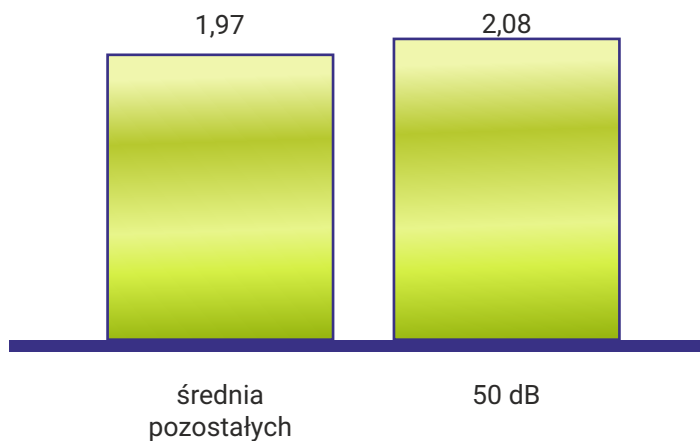
Wyniki zrealizowanych badań wykazały następującą tendencję: wzrost poziomu dźwięku A odtwarzanego hałasu turbiny wiatrowej skutkuje m.in. zmniejszeniem poziomu wydajności pracy badanych osób oraz obniżeniem poziomu jakości wykonanej pracy. W przypadku testu ALS najmniejszą wartość średniej arytmetycznej zmiennej „Liczba działań, które wykonano”, czyli głównego wskaźnika wykonania testu ALS, będącego miarą określającą poziom wydajności badanej osoby, uzyskano podczas wykonywania przez badane osoby testu w środowisku akustycznym reprezentującym hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB

(rys. 8). Różnice w wartościach średniej arytmetycznej zmiennej „Liczba działań, które wykonano” pomiędzy poszczególnymi wariantami eksperymentu jednak są nieduże, co jest zgodne z uzyskanym wynikiem testu ANOVA dla prób zależnych, który jest nieistotny statystycznie:  $F(3, 144) = 0,388$ ;  $p = 0,76$ ;  $\eta^2 = 0,01$ .



Rys. 8. Wartości średnich arytmetycznych zmiennej „Liczba działań, które wykonano” w teście ALS dla różnych wariantów eksperymentu (czterech środowisk akustycznych)

Natomiast wyniki testu COG Kognitron (testu opartego na teorii opisującej wysiłek niezbędny do koncentracji na realizacji zadaniu) wskazują na największe obciążenie psychiczne człowieka w przypadku wykonywania zadań w środowisku akustycznym reprezentującym hałas turbin wiatrowych także o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB (rys. 9). Różnica pomiędzy wynikami (tj. wartościami zmiennej „Średni czas poprawnego odrzucenia”) uzyskanymi w środowisku akustycznym reprezentującym hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB i średnią z wyników w pozostałych środowiskach akustycznych (tj. w warunkach ciszy i w środowiskach akustycznych reprezentujących hałasy turbin wiatrowych o poziomach dźwięku A wynoszących 30 dB i 40 dB) oceniona za pomocą testu t-Studenta dla prób zależnych, jest istotna statystycznie, przy czym efekt nie jest duży:  $t(38) = - 2,05$ ;  $p < 0,05$ ;  $d\text{-Cohena} = 0,16$ .



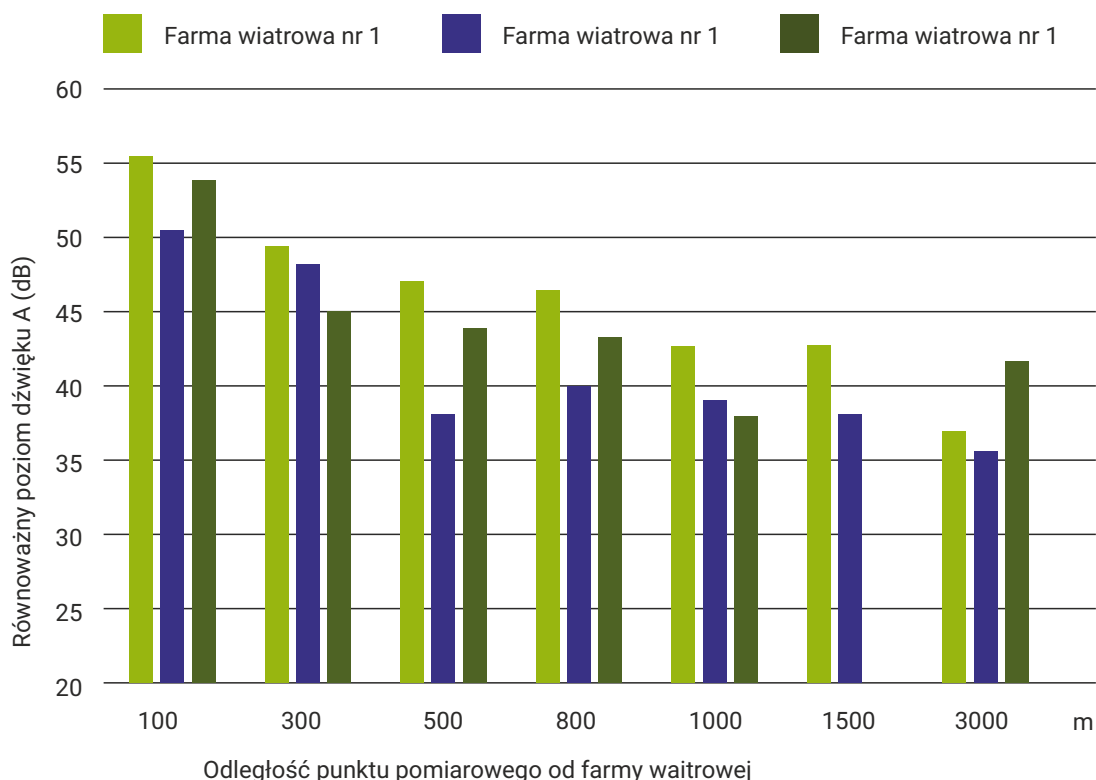
Rys. 9. Porównanie zmiennej „Średni czas poprawnego odrzucenia” w teście COG Kognitron uzyskanej w środowisku akustycznym reprezentującym hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB z uśrednionym wynikiem uzyskanym w pozostałych środowiskach akustycznych

Na podstawie wyników wykonanych badań laboratoryjnych uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań można sformułować następujące wnioski i spostrzeżenia:

- zaobserwowano tendencję, że zwiększanie poziomu dźwięku A odtwarzanego hałasu turbiny wiatrowej skutkuje m.in. zmniejszeniem poziomu wydajności pracy badanych osób oraz obniżeniem poziomu jakości wykonanej pracy,
- najmniejszą wartość średniej arytmetycznej zmiennej „Liczba działań, które wykonano” – głównego wskaźnika wykonania testu ALS, będącego miarą określającą poziom wydajności badanej osoby – uzyskano podczas wykonywania przez badane osoby testu w środowisku akustycznym reprezentującym hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB,
- wyniki testu COG Kognitron (testu opartego na teorii opisującej wysiłek niezbędny do koncentracji na realizacji zadaniu) wskazują na największe obciążenie psychiczne człowieka w przypadku wykonywania zadań w środowisku akustycznym reprezentującym hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB,
- hałas turbin wiatrowych o równoważnym poziomie dźwięku A wynoszącym co najmniej 50 dB należy uznać za hałas uciążliwy ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań.

# Propagacja hałasu turbin wiatrowych

Zrealizowano badania dotyczące wyznaczenia wartości poziomów hałasu turbin wiatrowych w funkcji odległości od farm wiatrowych. Obiektami tych badań były 3 farmy wiatrowe z zainstalowanymi na nich różnymi typami turbin wiatrowych. Pomiar hałasu turbin wiatrowych przeprowadzono w następujących odległościach od każdej z farm wiatrowych: 100 m, 300 m, 500 m, 800 m, 1000 m, 1500 m oraz 3000 m. Wyznaczone wartości poziomu dźwięku A emitowanego przez farmy wiatrowe przedstawiono na rys. 10. Z analizy wyników pomiarów wynika, że największe wartości poziomu dźwięku A zostały zmierzone w punktach pomiarowych zlokalizowanych w odległości 100 m od farm wiatrowych. W każdym z tych punktów pomiarowych równoważne poziomy dźwięku A hałasu turbin wiatrowych przekraczały wartość 50 dB i w zależności od typu turbin wiatrowych zainstalowanych na farmach wiatrowych zawierały się one w przedziale od 50,5 dB do 55,4 dB. Zwiększenie odległości od farm wiatrowych skutkowało zmniejszeniem mierzonych wartości poziomów hałasu turbin wiatrowych. W odległości 300 m od farm równoważne poziomy dźwięku A nie przekraczały wartości 50 dB i wynosiły one od 44,9 dB do 49,2 dB w zależności od typu turbin wiatrowych. W punktach pomiarowych zlokalizowanych w odległości 500 m od



Rys. 10. Równoważne poziomy dźwięku A hałasu turbin wiatrowych w punktach pomiarowych zlokalizowanych w odległościach od 100 do 3000 m od farm wiatrowych

badanych farm wiatrowych wartości równoważnego poziomu dźwięku A hałasu turbin wiatrowych wynosiły od 38,2 dB do 46,9 dB, zaś w odległości 800 m wartości te były w przedziale od 40,1 dB do 46,5 dB. Natomiast w odległości wynoszącej 1000 m od badanych farm wartości równoważnego poziomu dźwięku A hałasu turbin wiatrowych wynosiły od 38,2 dB do 42,6 dB w zależności od typu turbin wiatrowych. Jeszcze niższe wartości równoważnego poziomu dźwięku A stwierdzono w odległościach 1500 m i 3000 m od farm wiatrowych i wynosiły one odpowiednio od 38,1 dB do 42,7 dB oraz od 35,6 dB do 41,6 dB. Z uzyskanych danych pomiarowych wynika, że wartość równoważnego poziomu dźwięku A hałasu turbin wiatrowych nie przekracza wartości 50 dB w odległości powyżej 300 m od farmy wiatrowej. **Uzyskane w CIOP-PIB wyniki pomiarów propagacji hałasu turbin wiatrowych są zgodne z danymi podawanymi w literaturze.**

## Zalecenia dotyczące stref uciążliwości hałasu turbin wiatrowych

W wyniku przeprowadzonych w CIOP-PIB badań uciążliwości hałasu turbin wiatrowych stwierdzono, że hałas turbin wiatrowych o równoważnym poziomie dźwięku A wynoszącym co najmniej 50 dB jest hałasem uciążliwym ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań. W związku z tym strefą uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań jest obszar wokół farmy wiatrowej (lub turbiny wiatrowej), na którym równoważny poziom dźwięku A hałasu turbin wiatrowych jest większy lub równy 50 dB.

Zasięg strefy uciążliwości hałasu turbin wiatrowych zależy od szeregu czynników związanych zarówno z typem i parametrami technicznymi turbiny wiatrowej, jak również z czynnikami środowiskowymi. W przypadku turbiny wiatrowej, to jej typ, moc, wysokość wieży oraz średnica rotora i warunki pracy mają istotny wpływ na emitowany hałas, a tym samym na zasięg strefy uciążliwości hałasu. Z kolei takie czynniki środowiskowe jak ukształtowanie terenu i jego pokrycie, prędkość i kierunek wiatru, temperatura i wilgotność powietrza wpływają także na zasięg oddziaływania hałasu turbin wiatrowych. Dotychczas nie opracowano znormalizowanej metody predykcji hałasu turbin wiatrowych. Do predykcji tej wykorzystywane są m.in. komercyjne opracowania bazujące na trzech, wprowadzonych do katalogu Polskich Norm, normach międzynarodowych ISO 9613-1 [12], ISO 9613-2 [13] oraz EN/IEC 61400-11 [14].

Z przeprowadzonych w CIOP-PIB badań hałasu turbin wiatrowych w funkcji odległości od farm wiatrowych wynika, że w odległości 300 m od farm wiatrowych równoważny poziom dźwięku A hałasu turbin wiatrowych osiąga wartości poniżej 50 dB, czyli jest poniżej wartości, którą uznano w ramach zrealizowanego zadania za wartość uciążliwą ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań. Zatem uwzględniając dane literaturowe oraz wyniki badań zrealizowanych w CIOP-PIB można stwierdzić, że:

- strefa uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań to obszar wokół farmy/turbiny wiatrowej, na którym równoważny poziom dźwięku A hałasu turbin wiatrowych jest równy lub większy od 50 dB,
- w odległościach powyżej 500 m od farm wiatrowych (lub turbin wiatrowych) równoważny poziom dźwięku A hałasu turbin wiatrowych nie przekracza wartości 50 dB, i w związku z tym należy przyjąć, że zasięg strefy, w której występuje uciążliwość hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań nie przekracza odległości 500 m od farmy (lub turbiny) wiatrowej,
- w przypadku każdej farmy wiatrowej należy indywidualnie wyznaczać zasięg strefy, w której występuje uciążliwość hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań korzystając z aktualnie dostępnych narzędzi i metod predykcji hałasu turbin wiatrowych.



## Podsumowanie

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań (tj. badania ankietowego dotyczącego uciążliwości hałasu turbin wiatrowych na stanowiskach pracy znajdujących się w pobliżu farm wiatrowych, badania ankietowego dotyczącego subiektywnej oceny uciążliwości hałasu turbin wiatrowych w warunkach laboratoryjnych, badań laboratoryjnych uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań, oraz badań propagacji hałasu turbin wiatrowych) można stwierdzić, że:

- średnia ocena uciążliwości hałasu generowanego przez turbiny wiatrowe w skali od 0 do 10 dokonana przez pracowników zatrudnionych w pobliżu farm wiatrowych wyniosła 2,33, a zatem stwierdzono niewielką uciążliwość,
- w ramach badania ankietowego badane osoby spośród odtwarzanych hałasów turbin wiatrowych jako najbardziej uciążliwy oceniły hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB. Hałas ten badane osoby oceniły w stopniu istotnym statystycznie jako bardziej uciążliwy od hałasów turbin wiatrowych o poziomach dźwięku A wynoszących odpowiednio 30 dB i 40 dB,
- zaobserwowano tendencję, że zwiększenie poziomu dźwięku A odtwarzanego hałasu turbiny wiatrowej skutkuje m.in. zmniejszeniem poziomu wydajności pracy badanych osób oraz obniżeniem poziomu jakości wykonanej pracy,
- najmniejszą wartość średniej arytmetycznej zmiennej „Liczba działań, które wykonano” – głównego wskaźnika wykonania testu ALS, będącego miarą określającą poziom wydajności badanej osoby – uzyskano podczas wykonywania przez badane osoby testu w środowisku akustycznym reprezentującym hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB,
- wyniki testu COG Kognitron (testu opartego na teorii opisującej wysiłek niezbędny do koncentracji na realizacji zadaniu) wskazują na największe obciążenie psychiczne człowieka w przypadku wykonywania zadań w środowisku akustycznym reprezentującym hałas turbin wiatrowych o poziomie dźwięku A wynoszącym 50 dB,
- hałas turbin wiatrowych o równoważnym poziomie dźwięku A wynoszącym co najmniej 50 dB należy uznać za hałas uciążliwy ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań,

- strefa uciążliwości hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań to obszar wokół farmy/turbiny wiatrowej, na którym równoważny poziom dźwięku A hałasu turbin wiatrowych jest równy lub większy od 50 dB,
- w odległościach powyżej 500 m od farm wiatrowych (lub turbin wiatrowych) równoważny poziom dźwięku A hałasu turbin wiatrowych nie przekracza wartości 50 dB i w związku z tym można przyjąć, że zasięg strefy, w której występuje uciążliwość hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań nie przekracza odległości 500 m od farmy (lub turbiny) wiatrowej,
- w odniesieniu do każdej farmy wiatrowej należy indywidualnie wyznaczać zasięg strefy, w której występuje uciążliwość hałasu turbin wiatrowych ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań korzystając z aktualnie dostępnych narzędzi i metod predykcji hałasu turbin wiatrowych.





# Bibliografia

1. Lewandowski WM.: Proekologiczne odnawialne źródła energii, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2012.
2. Rusin A., Wojaczek A., Nawrat K.: Zmiana struktury systemu energetycznego i możliwości wytwórczych krajowych bloków energetycznych, Rynek Energii, 2020, nr 2, 3-7.
3. Energia ze źródeł odnawialnych w 2020 r., Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2021, [https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/3/15/1/energia\\_ze\\_zrodel\\_odnawialnych\\_w\\_2020\\_r.pdf](https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/3/15/1/energia_ze_zrodel_odnawialnych_w_2020_r.pdf)
4. Jędral W.: OZE i efektywność energetyczna w kontekście wyzwań dla wytwarzania i użytkowania energii elektrycznej w Polsce, Rynek Energii, 2019, nr 5, 3-8.
5. Jurczyk M., Węcel D.: Koncepcja stanowiska badawczego wyposażonego w turbinę wiatrową małej mocy o poziomej osi obrotu, Rynek Energii, 2019, nr 5, 9-13.
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne (Dz.U. 2005 nr 157 poz. 1318).
7. Field JM.: Effect of personal and situational variables upon noise annoyance in residential areas, Journal of the Acoustical Society of America. 1993, 93 (5), 2753–2763.
8. Lercher P., Hörtnagl J., Kofler WW.: Work noise annoyance and blood pressure: combined effects with stressful working conditions, International Archives of Occupational and Environmental Health, 1993, 65 (1): 23–28.
9. ISO/TS 15666:2021 Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys.
10. Berglund B., Lindvall T., Schwela D.: H & World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. Guidelines for community noise. World Health Organization, 1999. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>
11. Pleban D.: Analiza uciążliwości hałasu turbin wiatrowych w środowisku pracy, Rynek Energii, 2022, 5(162), 64 – 69.
12. PN-ISO 9613-1:2000 Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Obliczenie pochłaniania dźwięku przez atmosferę.
13. PN-ISO 9613-2:2002 Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania.
14. PN-EN 61400-11:2013 Turbozespoły wiatrowe. Część 11: Procedury pomiaru hałasu.