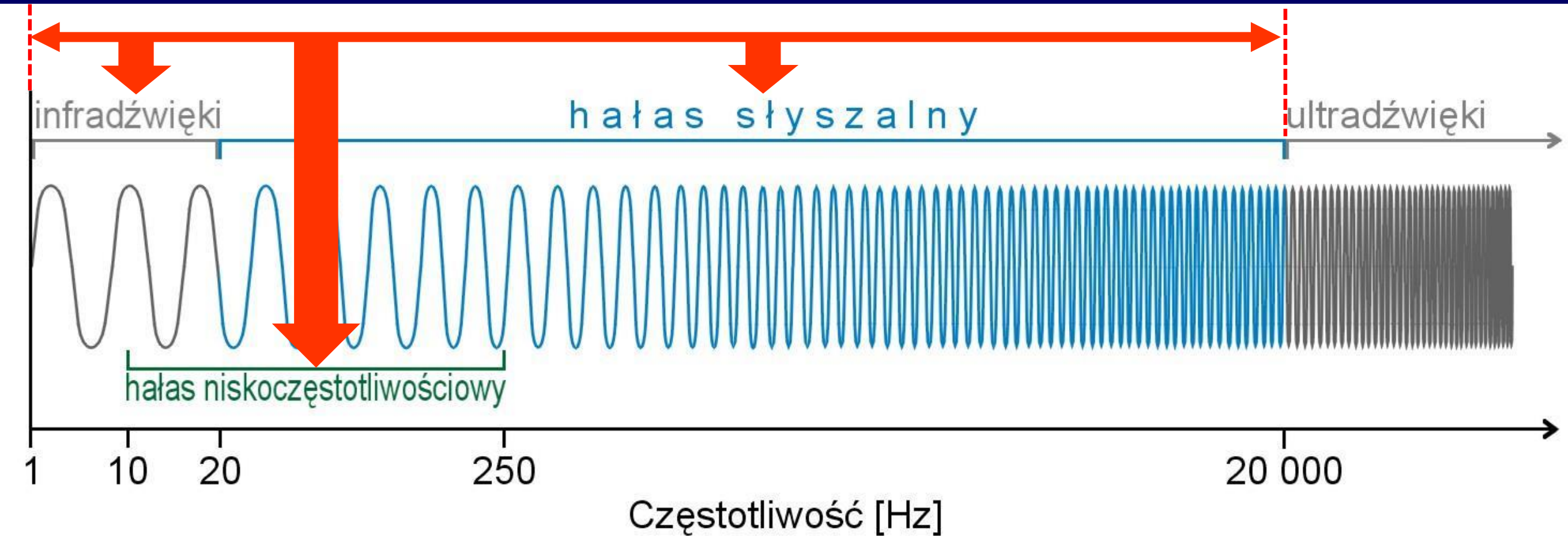


Oddziaływanie akustyczne turbin wiatrowych

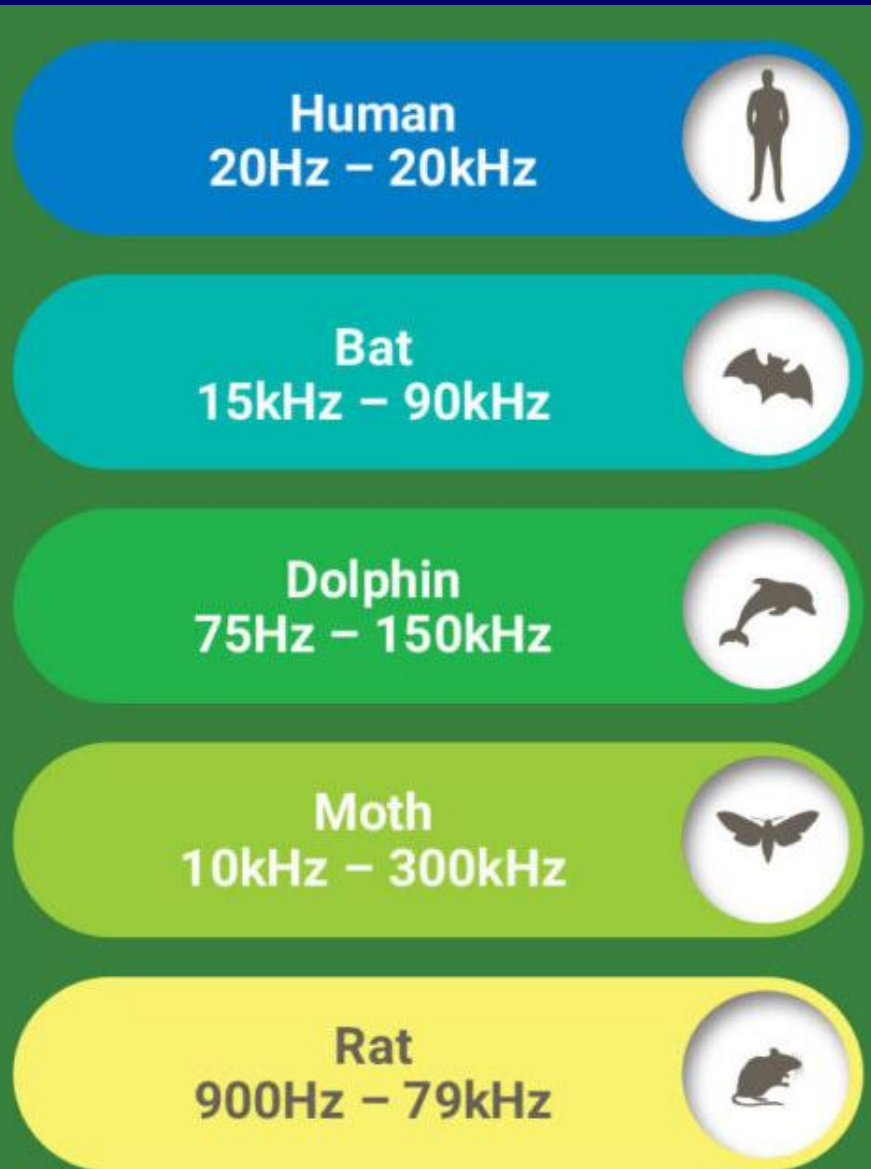


Tomasz BOCZAR

Jaki hałas generują turbiny wiatrowe ?



Jak wypada ludzki słuch w porównaniu ...

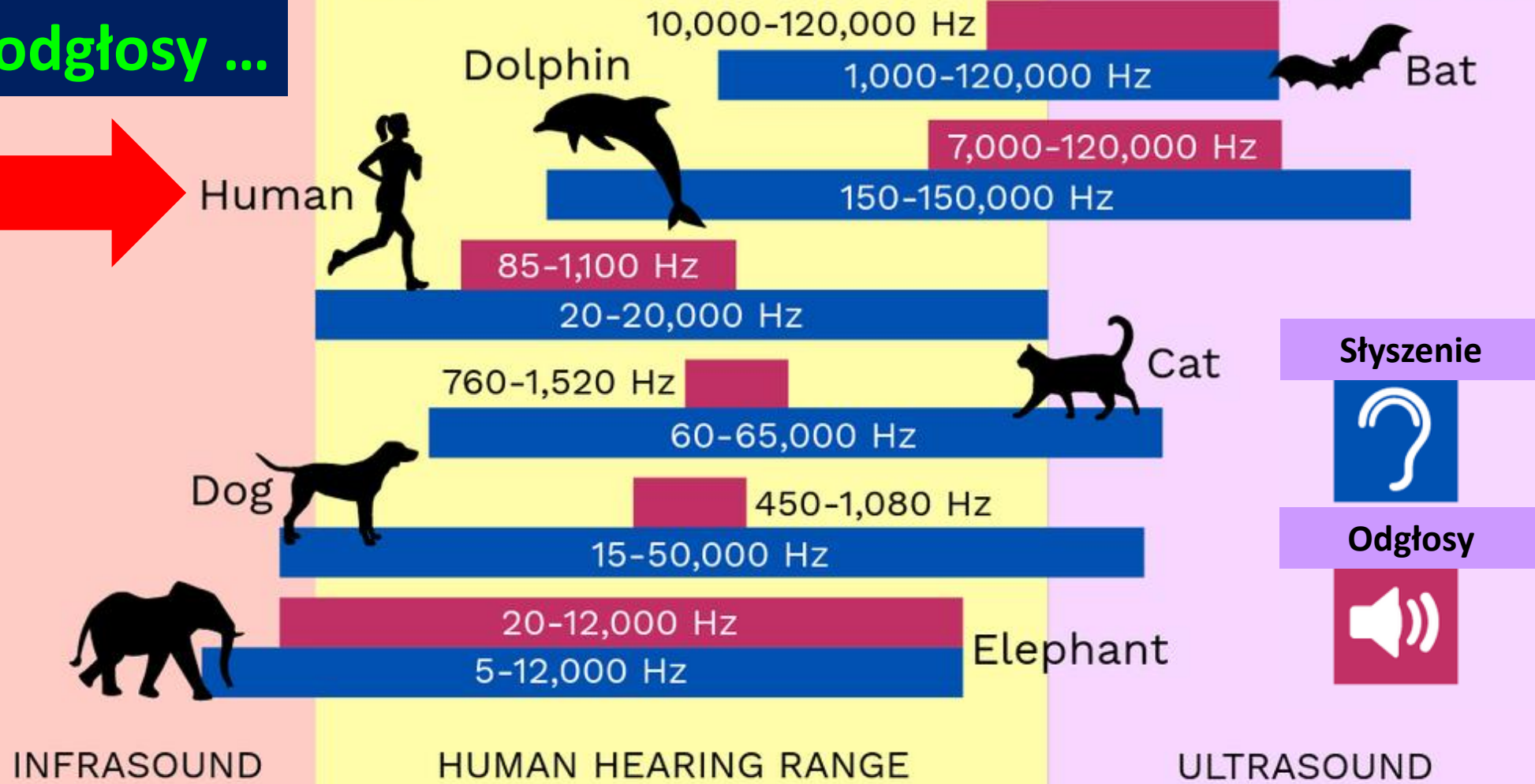
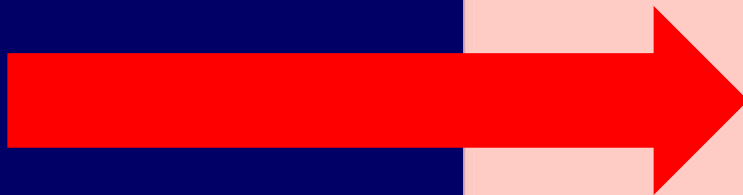


Lower frequency

Higher frequency



A jakby dodać odgłosy ...



Słyszanie



Odgłosy



INFRASOUND

HUMAN HEARING RANGE

ULTRASOUND

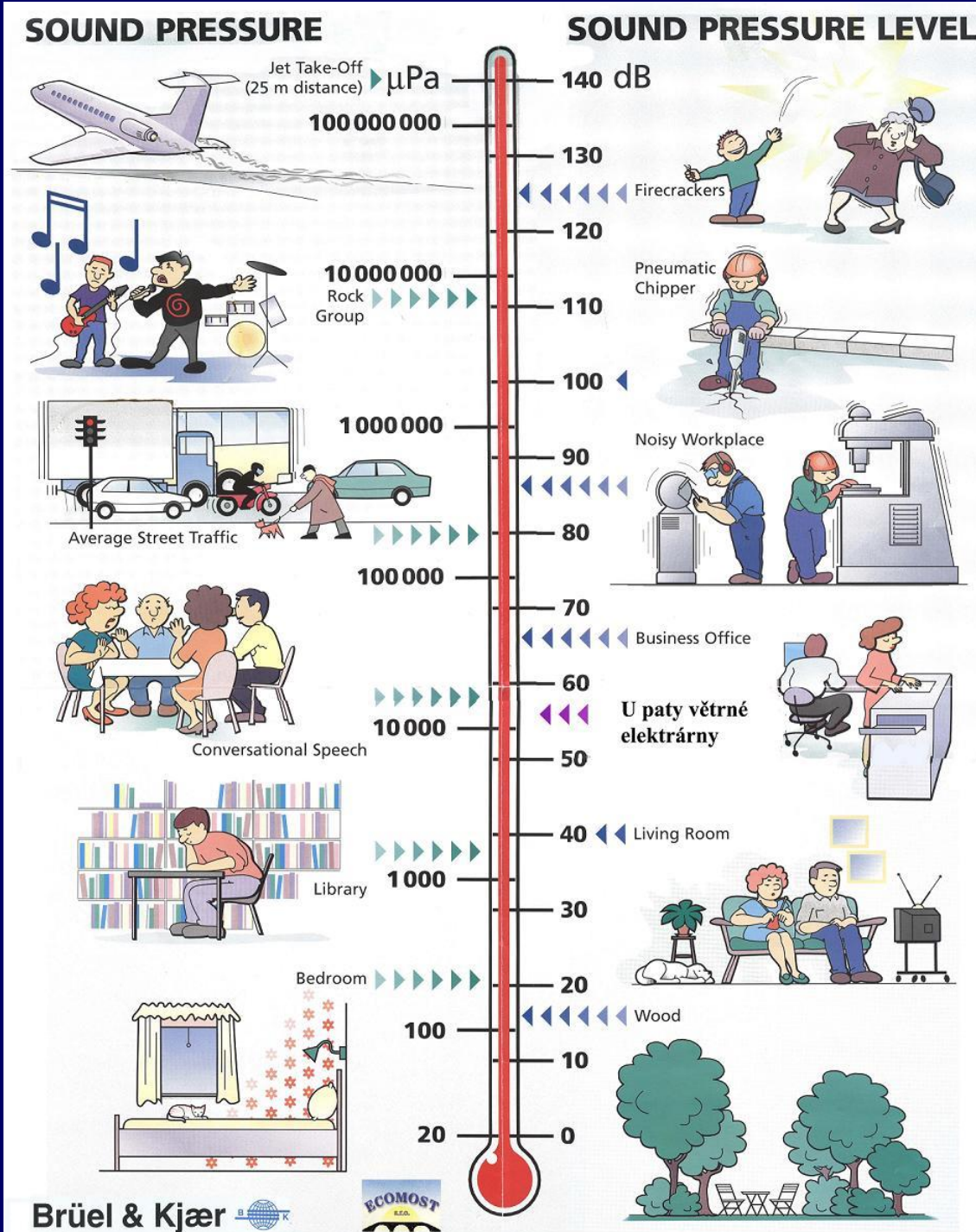
Emisja hałasu przez turbiny wiatrowe w zakresie słyszalnym (16 Hz - 20 kHz)



Miara oddziaływania hałasu (dBA) poziom natężenia dźwięku

Zgodnie z Rozporządzeniem
Ministra Środowiska z 14 czerwca 2007 r.
(Dz.U. nr 120 poz. 826)
dopuszczalny poziom hałasu:

- w ciągu dnia wynosi **(50 – 60) dB**,
- w ciągu nocy **(40 – 45) dB**.



**Według Światowej Organizacji Zdrowia
bezpieczny dla zdrowia poziom hałasu
nie powinien przekraczać:
55 dBA w dzień i 45 dBA w nocy**

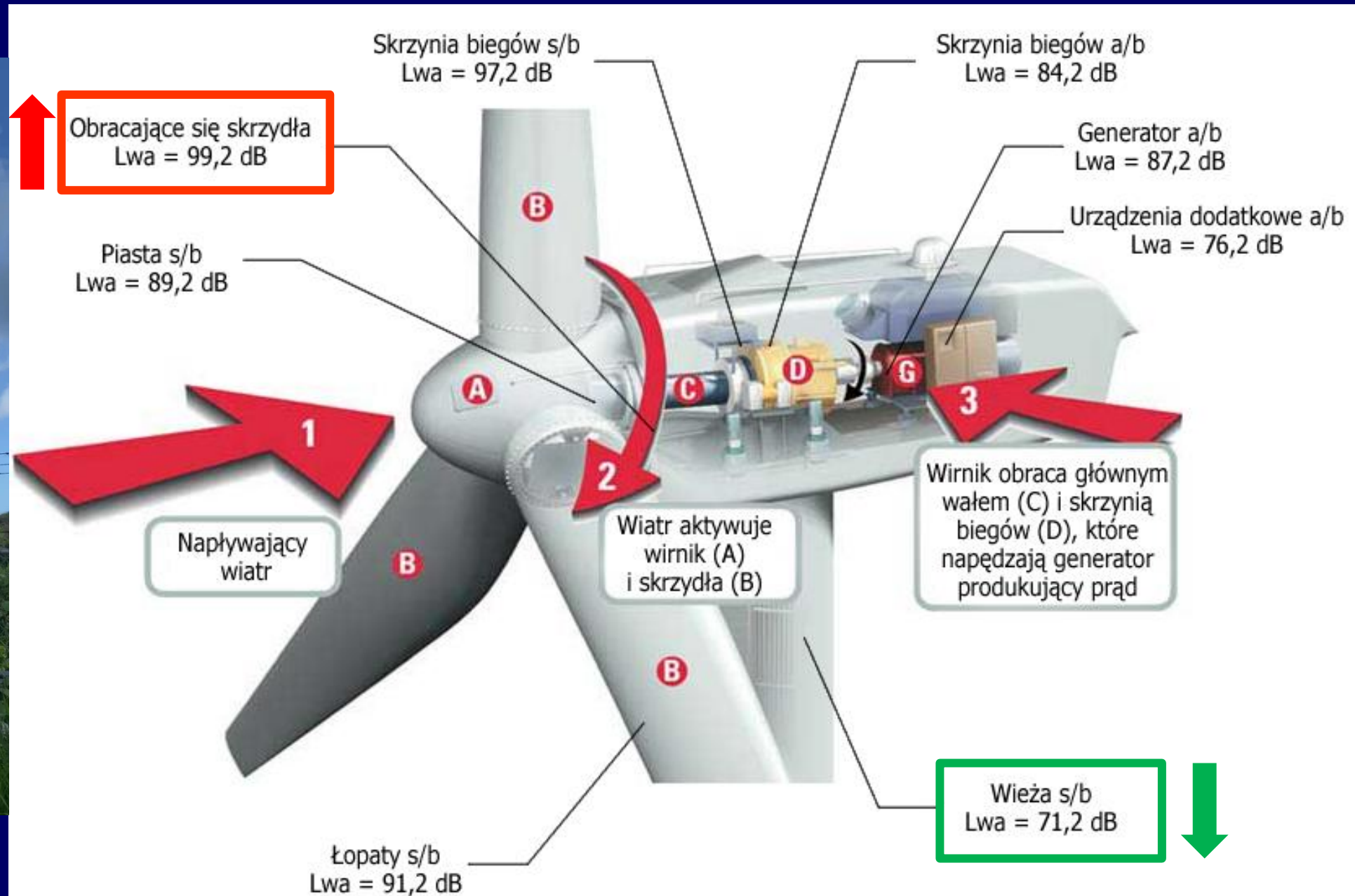


Wpływ poziomu natężenia dźwięku na zdrowie ludzkie

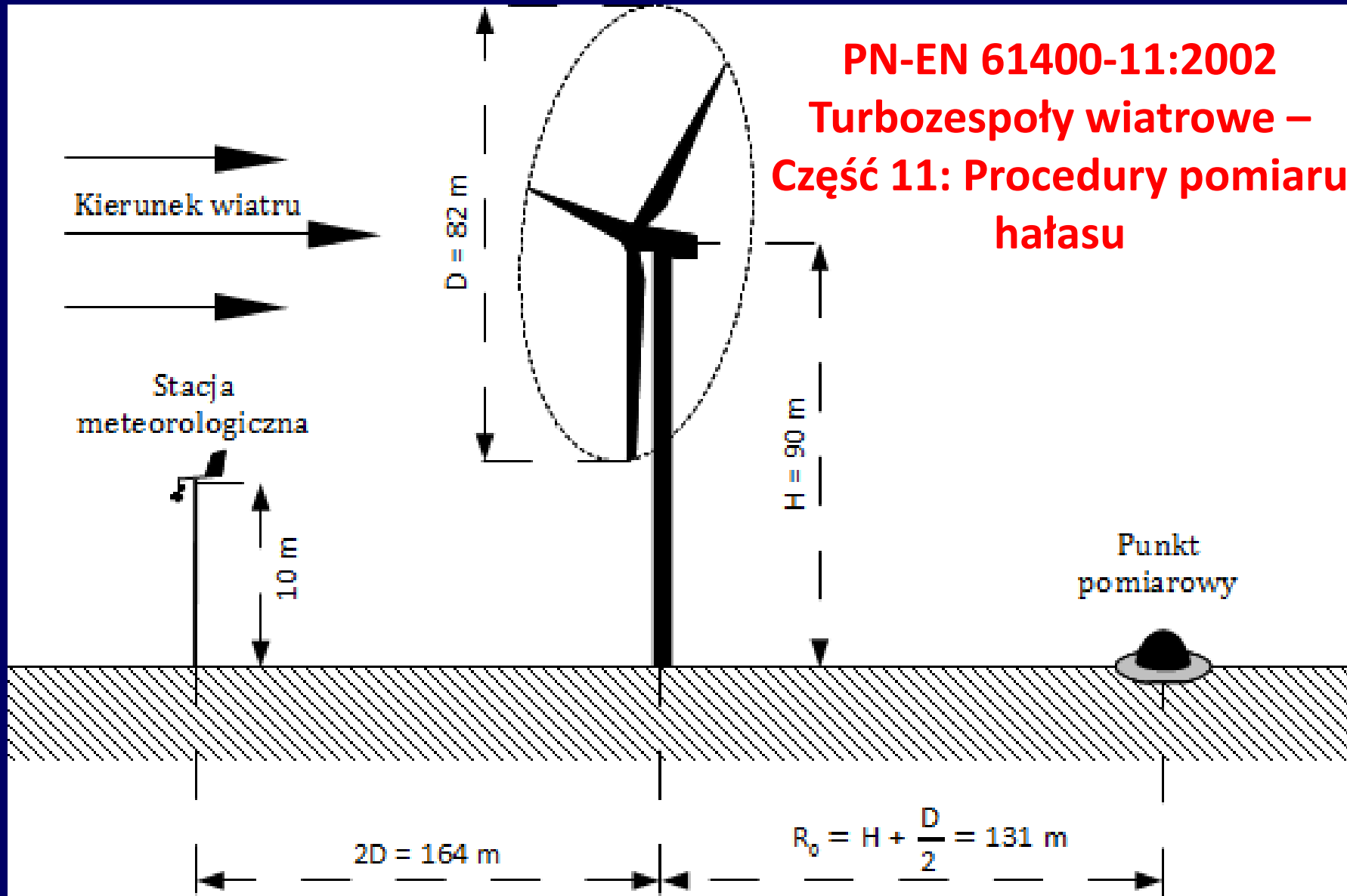
- **Poniżej 35 dB** – dźwięk jest obojętny dla zdrowia.
- **35 – 70 dB** – dźwięk może powodować zmęczenie, utrudnia rozmowę.
- **70 – 85 dB** – dźwięk jest szkodliwy dla zdrowia. Długotrwała emisja może wywołać uszkodzenie słuchu.
- **85 – 130 dB** – dźwięk jest bardzo szkodliwy dla zdrowia. Może powodować trwałe uszkodzenia słuchu oraz inne dolegliwości zdrowotne.
- **Powyżej 130 dB** – bardzo niebezpieczny poziom hałasu, który powoduje trwałe uszkodzenia słuchu, a nawet drgania organów wewnętrznych, które mogą wywołać tragiczne skutki dla zdrowia.



A jak to jest z turbinami wiatrowymi ?



Metodyka wykonywania pomiarów natężenia dźwięku generowanego przez turbiny wiatrowe



Pomiar kierunku i prędkości wiatru - aneometr



Pomiary kierunku i prędkości wiatru – aneometr, wiatrowskaz maszt pomiarowy



Pomiar warunków meteorologicznych

Stacja meteorologiczna Davis Vantage Pro 2



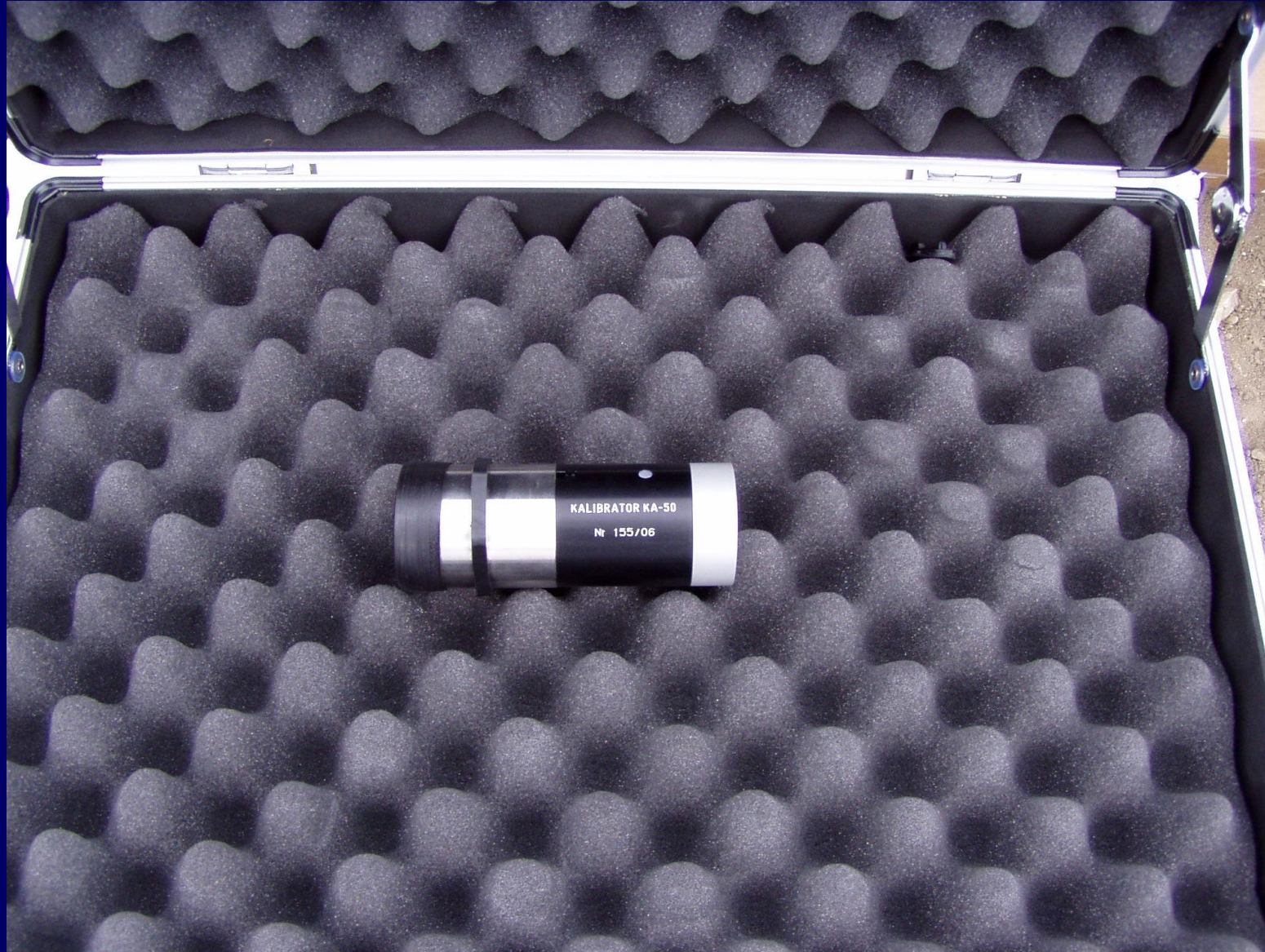
Aparatura pomiarowa

Mikrofon Brüel & Kjær typ 419 zakres częstotliwości (1,2 Hz – 20 kHz)



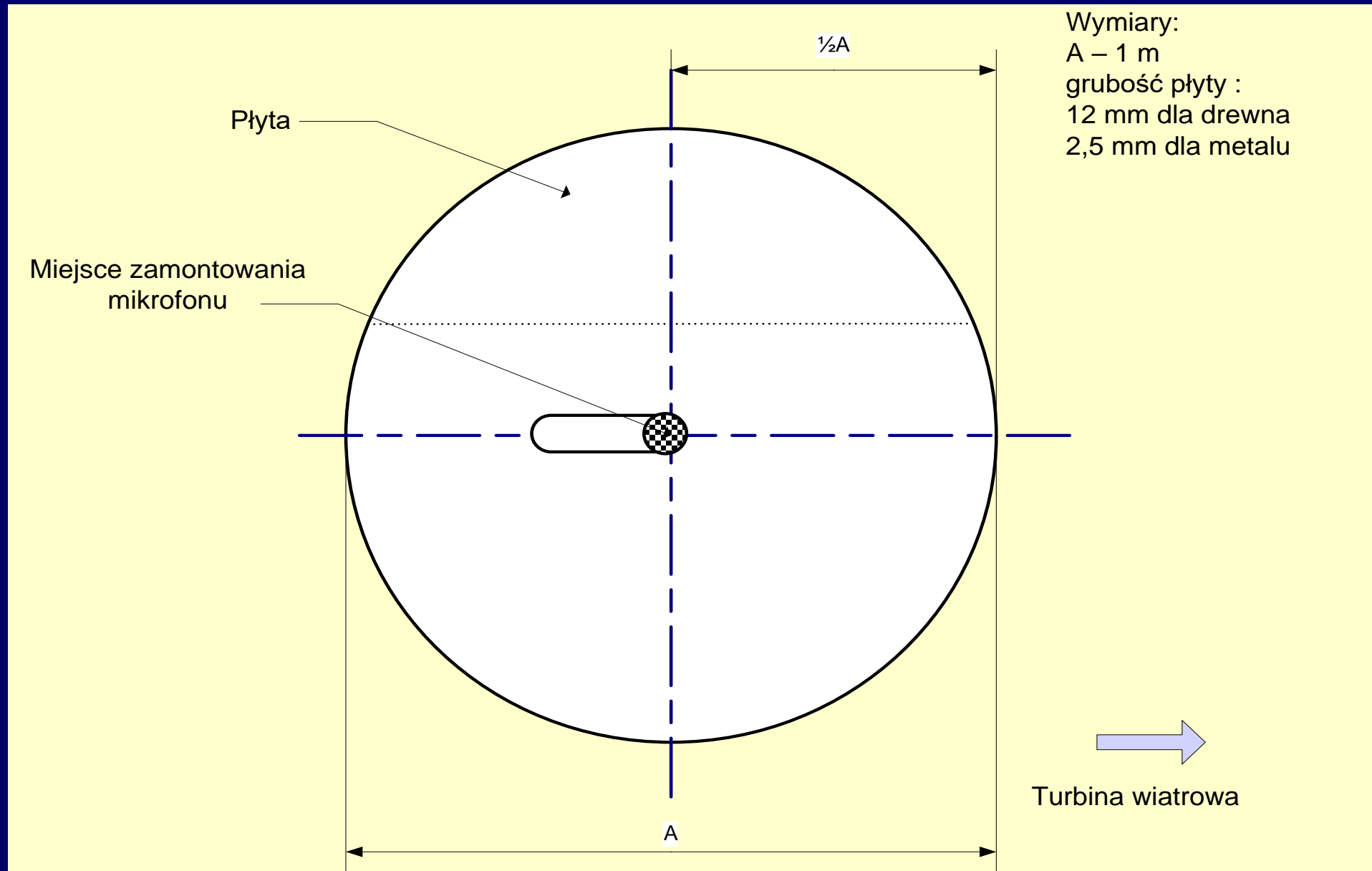
Aparatura pomiarowa

Kalibrator akustyczny KA-50



Sposób instalowania mikrofonu pomiarowego

PN-EN 61400-11:2004/A1:2006 Turbozespoły wiatrowe -Część 11: Procedury pomiaru hałasu



Aparatura pomiarowa – punkt pomiarowy

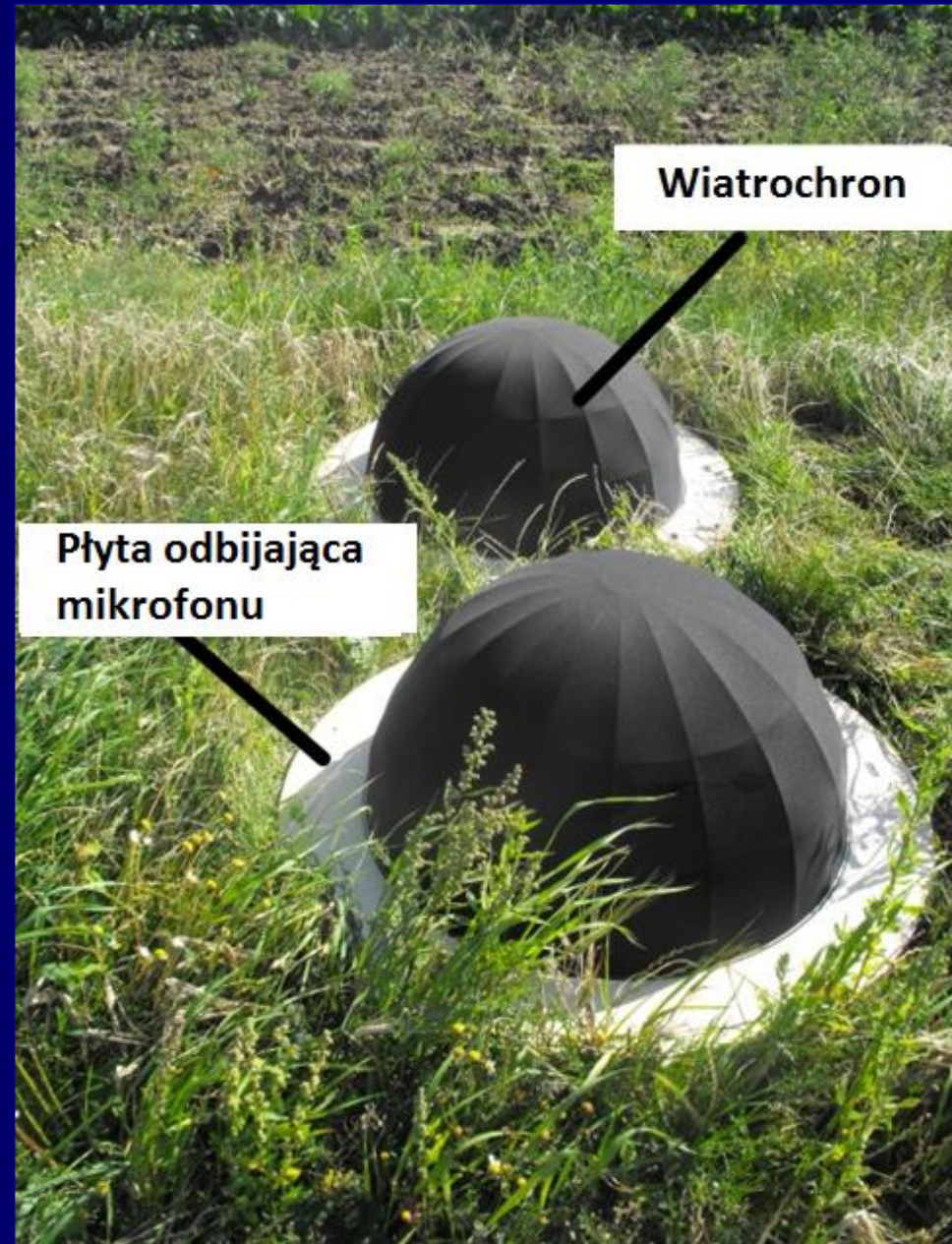


Aparatura pomiarowa

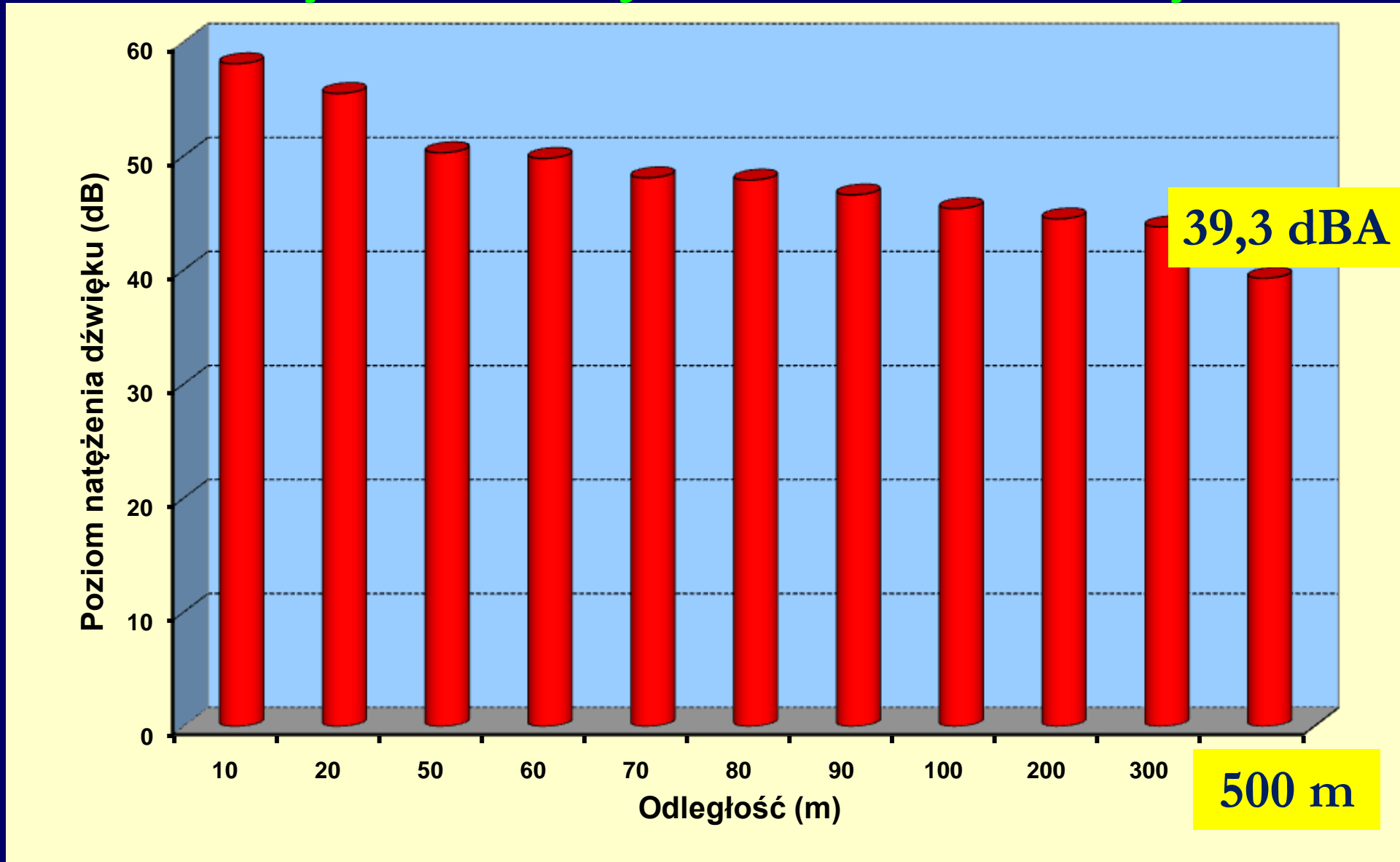
Cyfrowy miernik i analizator natężenia dźwięku Brüel & Kjær 3050-A-060



Pomiary własne natężenia dźwięku

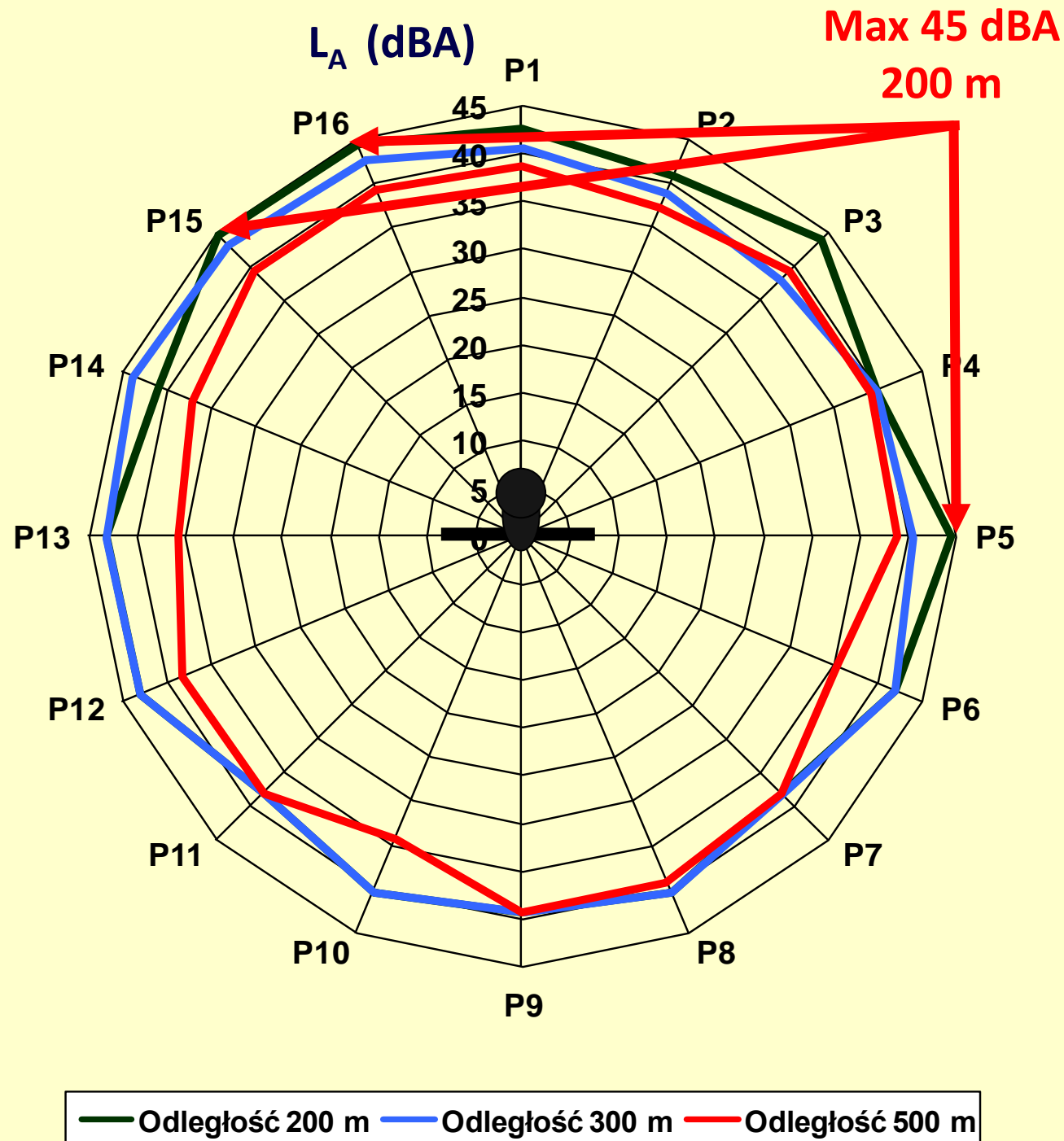


Przykładowe wyniki pomiarów natężenia dźwięku dla turbiny wiatrowej Vestas V80 o mocy 2 MW



Diagramy kołowe przedstawiające rozkład natężenia dźwięku wokół badanej turbiny wiatrowej dla trzech odległości, 16 punktów pomiarowych:

200, 300 i 500 m

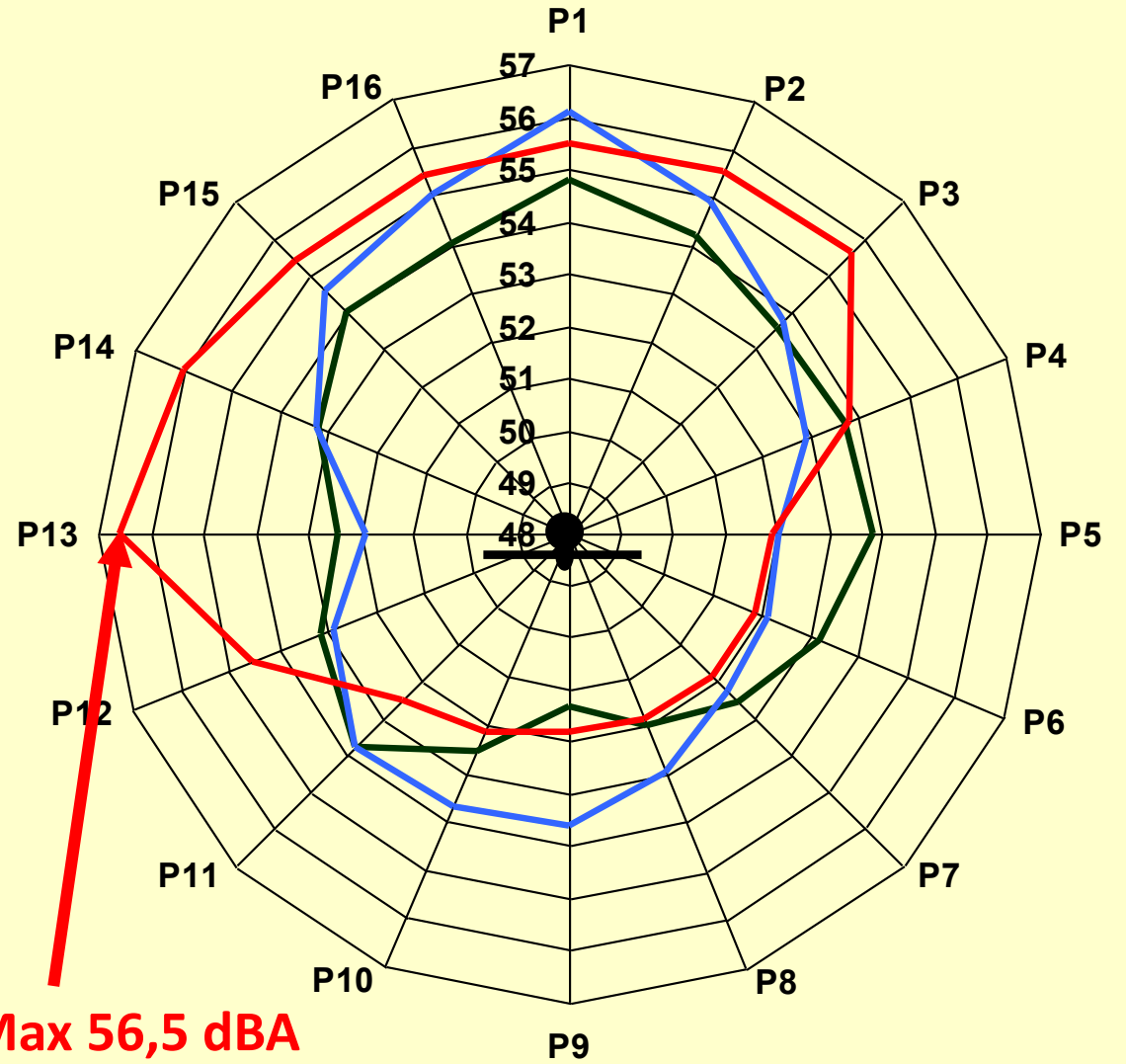


Aparatura pomiarowa

Cyfrowy miernik i analizator natężenia dźwięku firmy SVANTEK typ SVAN 945A



Pomiary własne natężenia dźwięku dla 3 turbin o mocy 150 kW

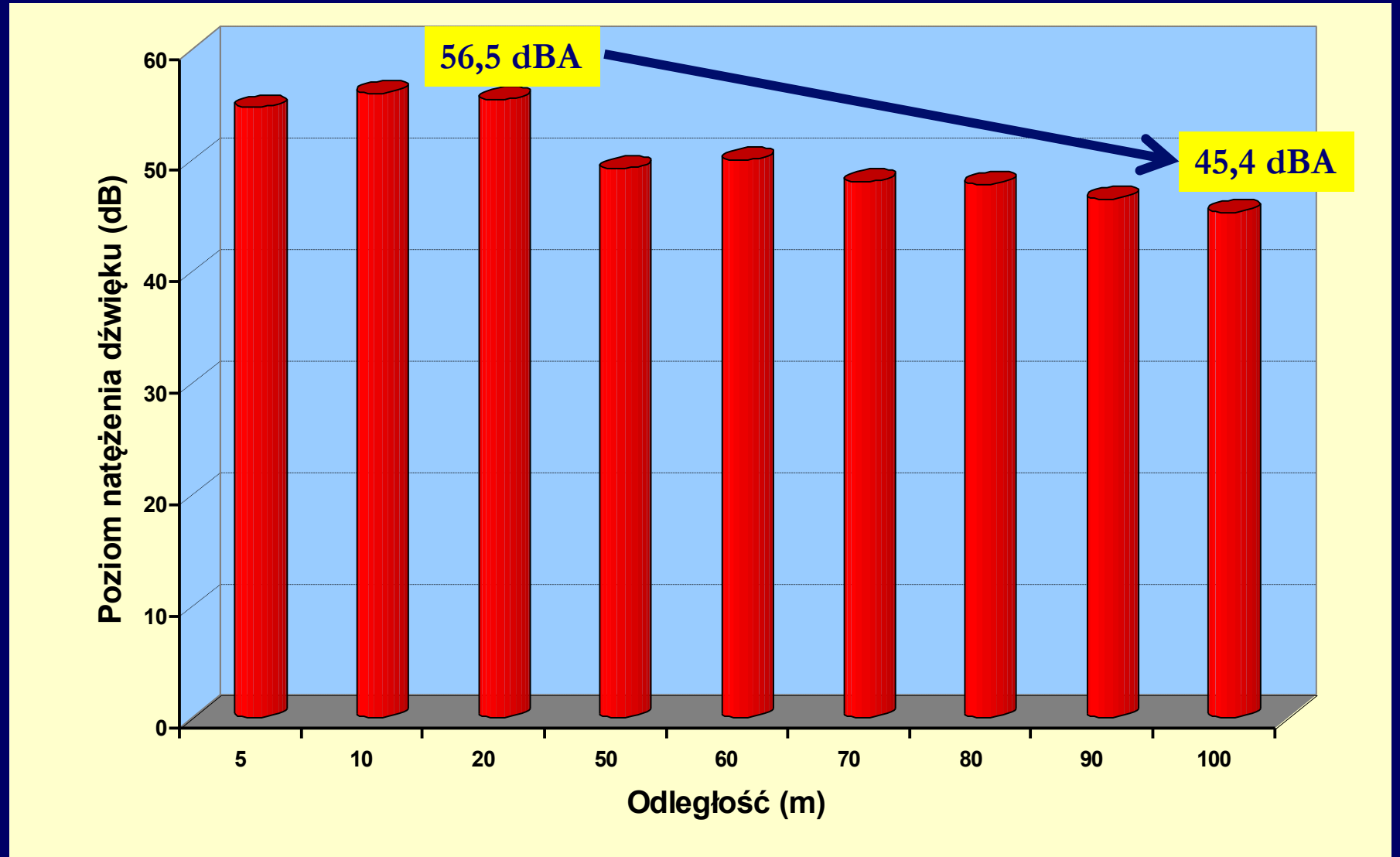


Max 56,5 dBA

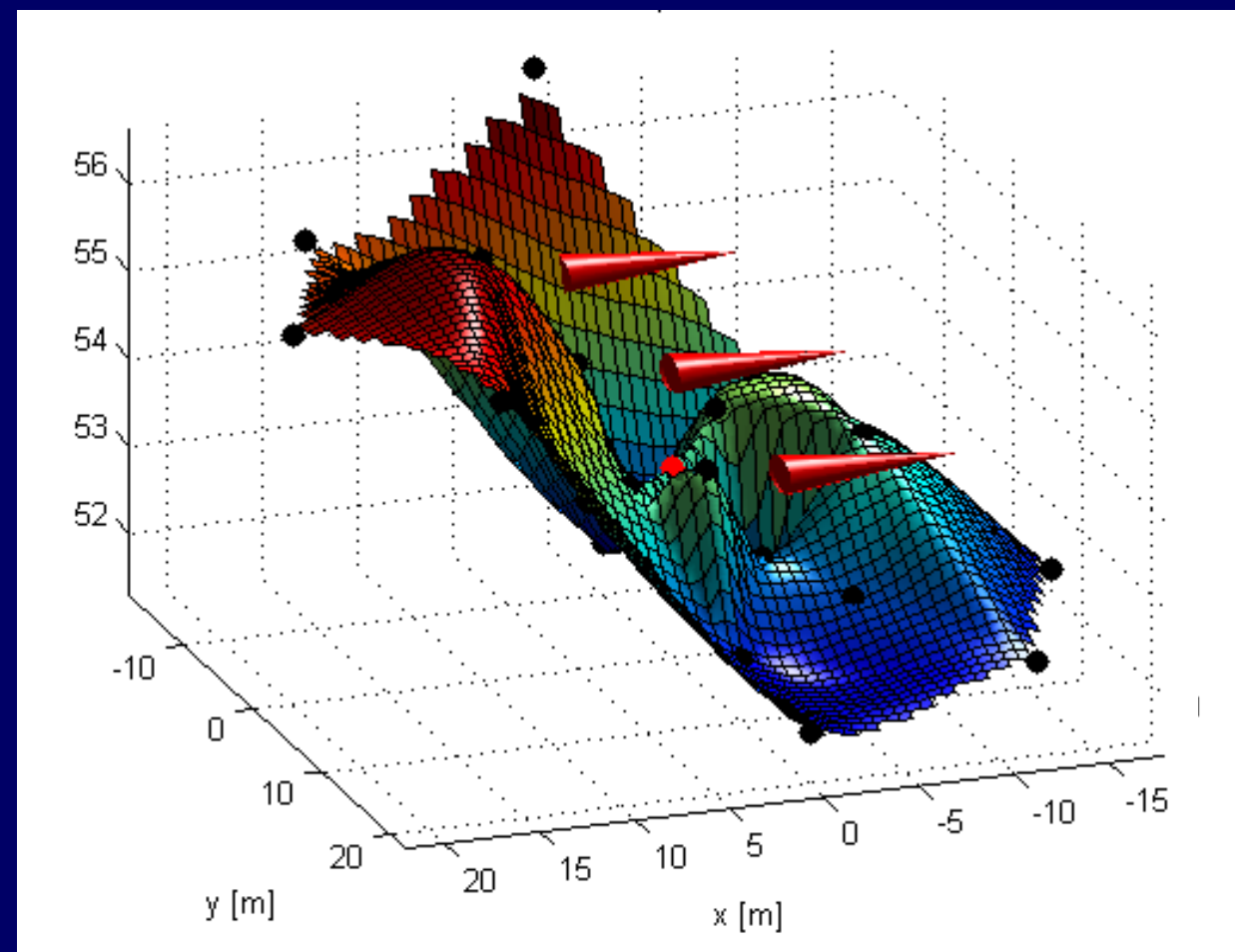
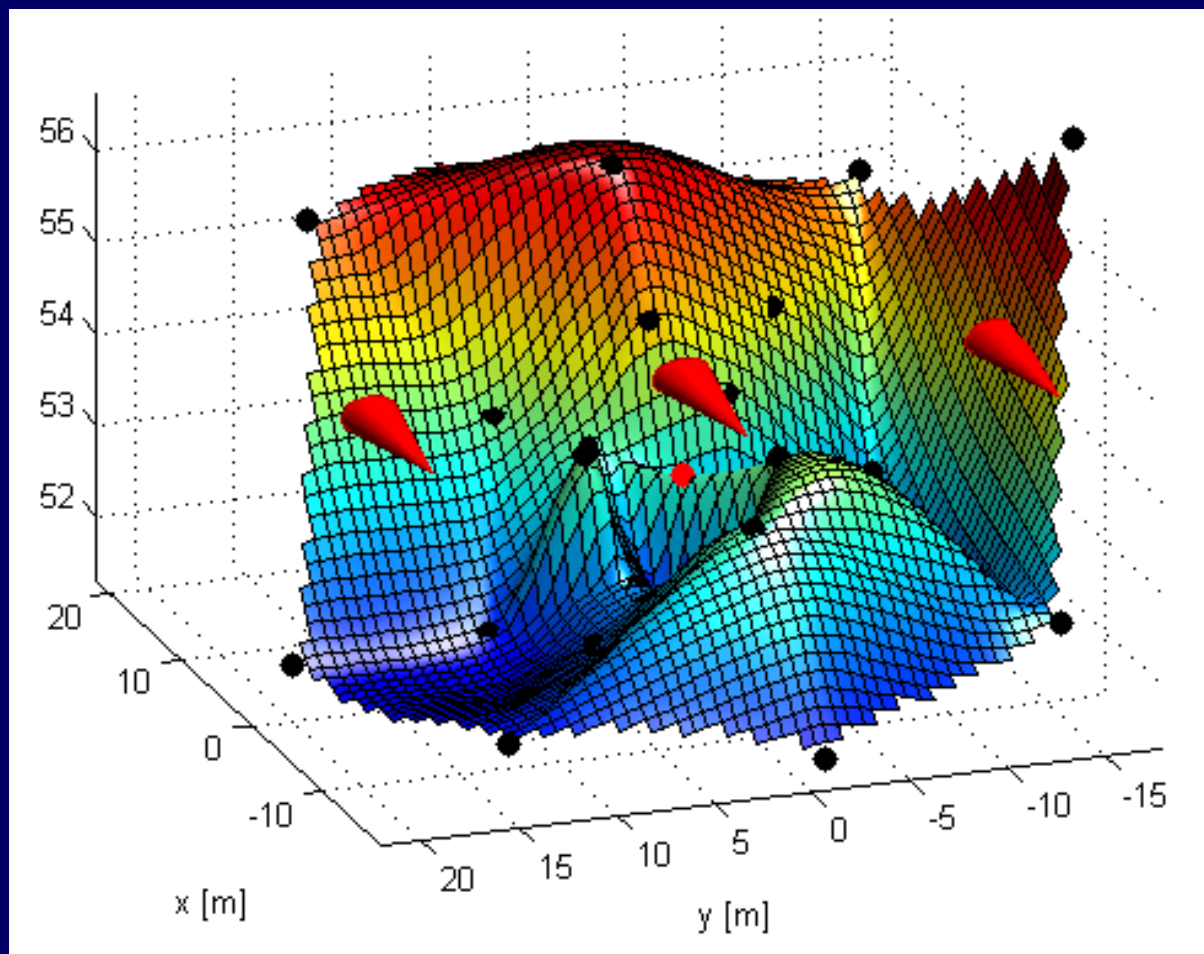
20 m

— Odległość 5 m — Odległość 10 m — Odległość 20 m

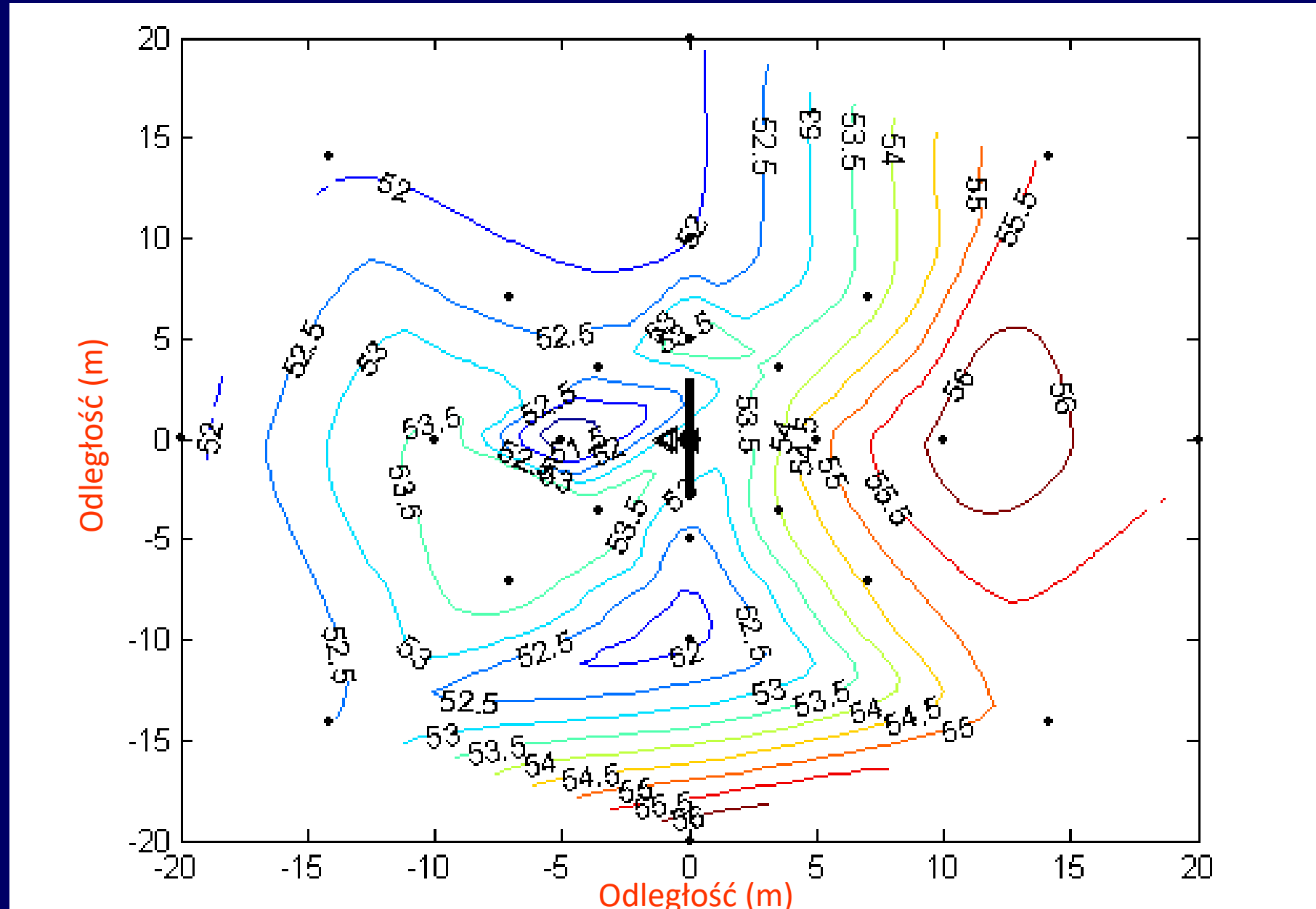
Przykładowe wyniki pomiarów natężenia dźwięku dla turbiny wiatrowej o mocy 150 kW dla odległości 5-100 m



Rozkład przestrzenny poziomu natężenia dźwięku (dBA) w zakresie od 5 do 100 m



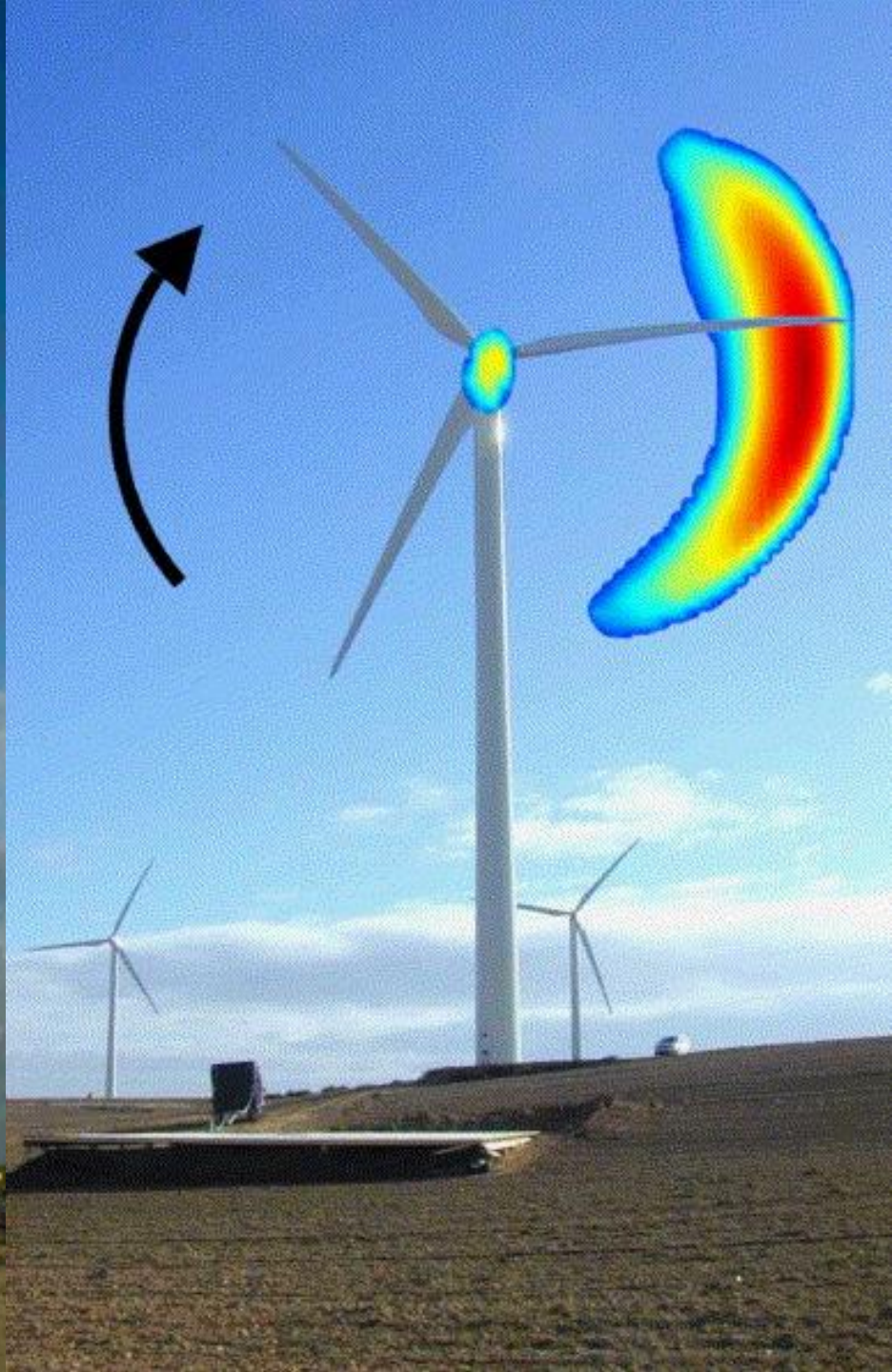
Izofony wokół badanej turbiny w zakresie od 0 do 20 m (dBA)



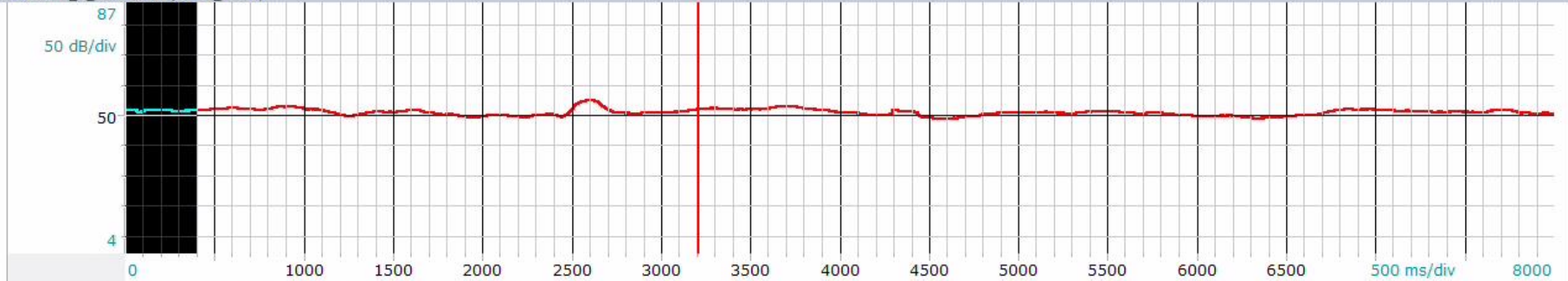
Pomiary przy wykorzystaniu kamer akustycznych





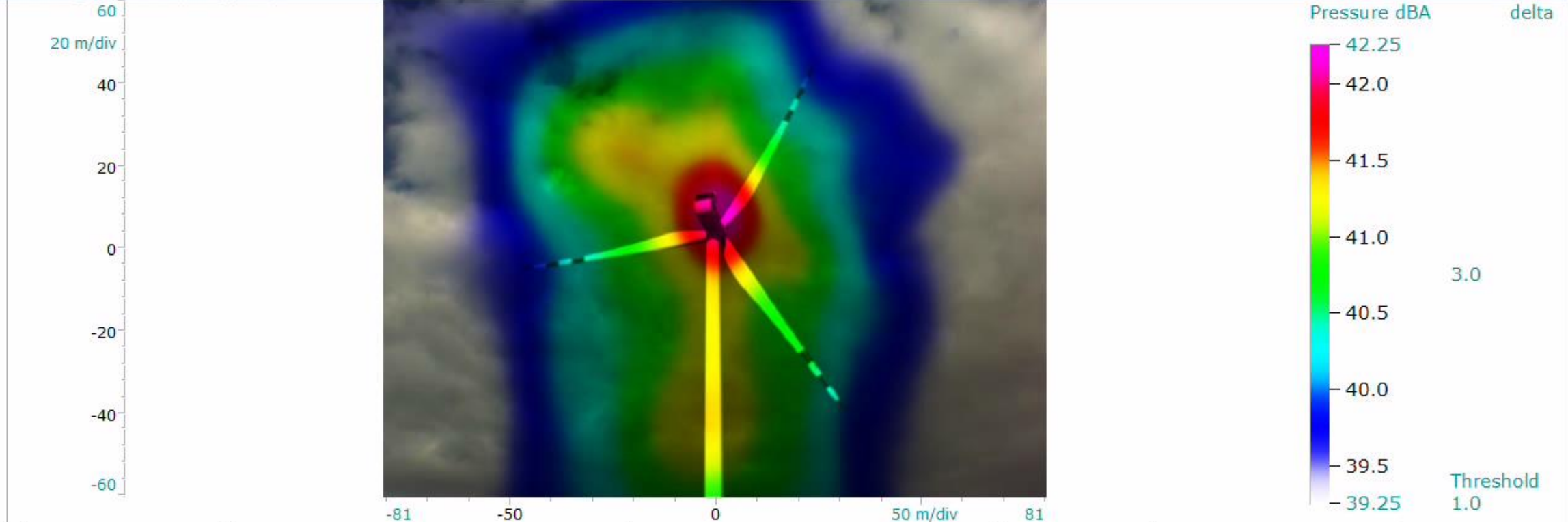


Unknown1_A_Movie2D.chl (Star48_13581)



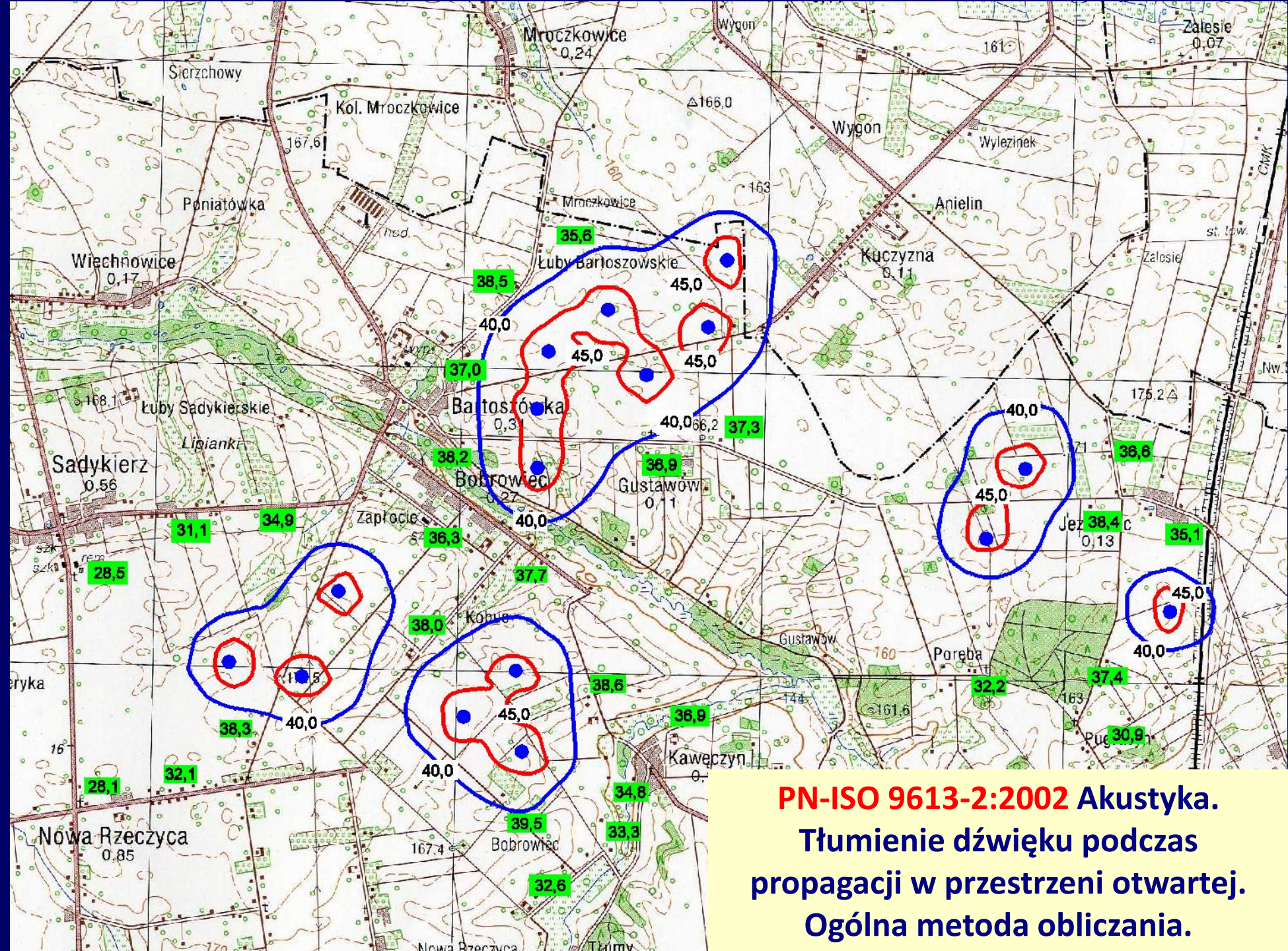
Samplingrate: 192.0 kHz Mark: all channels from 0.000 to 399.995 ms Eff.: 7.627 mPa (51.6 dBA)

Unknown1_A_Movie2D.amo (Star48_13581)



Samplingrate: 192.0 kHz Time domain (399.995 ms) from 0 to 400 ms Frequency domain from 0.000 to 96.000 kHz Focus: 200.000 m Algorithm: RMS, zero-padding

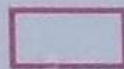
**Przykładowa
mapa
z obliczonymi
wartościami
natężenia
dźwięku (dBA)**



**PN-ISO 9613-2:2002 Akustyka.
Tłumienie dźwięku podczas
propagacji w przestrzeni otwartej.
Ogólna metoda obliczania.**



Turbiny



Odległość 1 km



> 50 dB (A)

> 45 dB (A)

> 40 dB (A)

> 35 dB (A)

> 30 dB (A)



Linia 43 dBA



Zabudowania

The background features a vibrant, abstract composition. On the left, a glowing yellow and orange ribbon loops and flows across the frame. To the right, a green and blue ribbon also flows, creating a sense of movement. In the center, a bar chart with numerous vertical bars of varying heights is visible, rendered in a semi-transparent, light blue color. The overall color palette is a mix of warm yellows, oranges, and reds on the left, transitioning into cooler blues and greens on the right, all set against a dark, gradient background.

A jak wygląda natężenie dźwięków emitowanych wokół nas ?

Według Światowej Organizacji Zdrowia najgłośniejszymi miastami Świata są kolejno:
Nowy Jork (80 dBA w nocy i 90 dBA w dzień), Tokio, Nagasaki i Buenos Aires



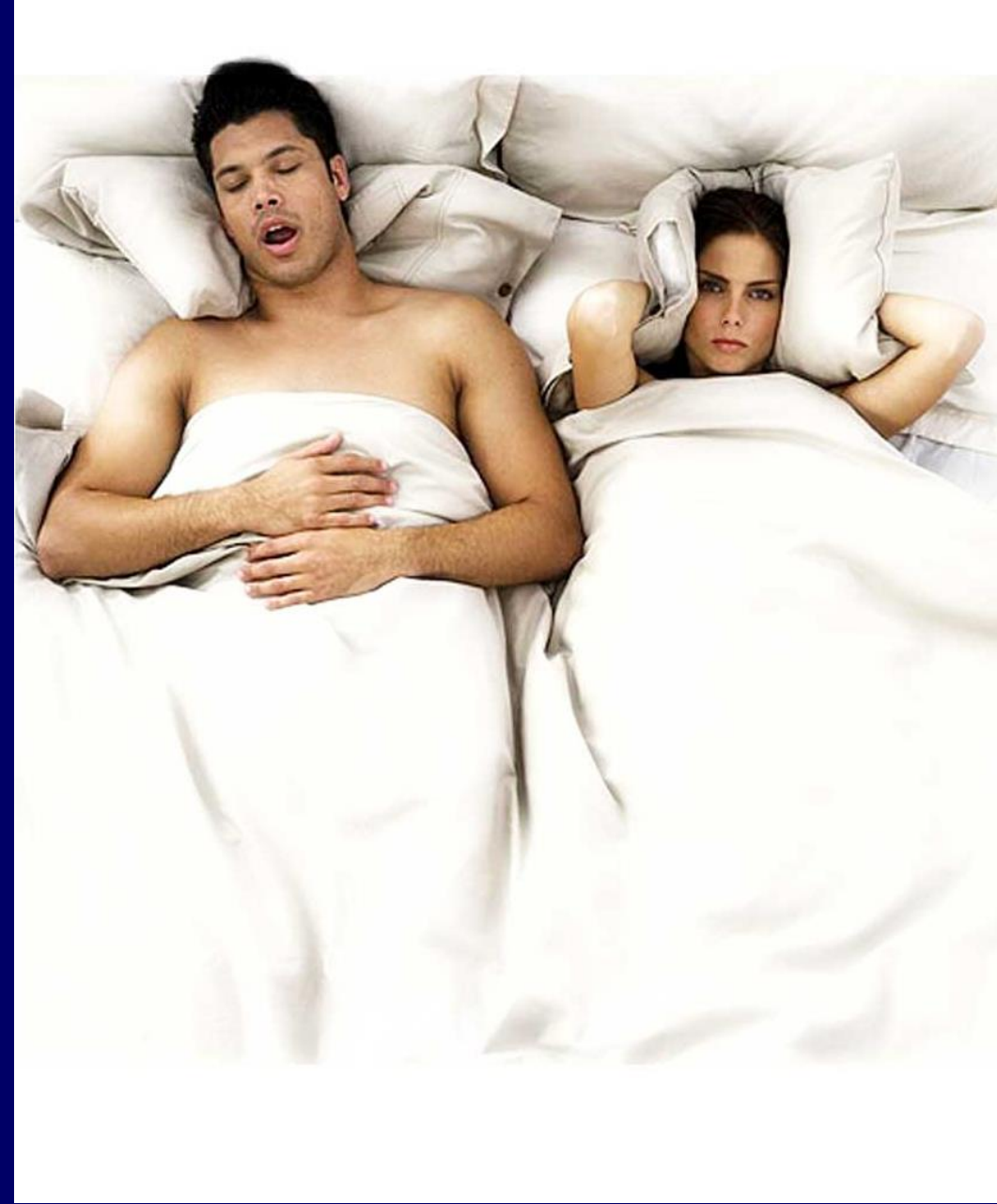


70.6分贝 (dB(A))

报刊亭

城市之窗

Głośne chrapanie może osiągnąć poziom 90 dBA



Cykady emitują dźwięki o poziomie powyżej 100 dBA



**Mruczenie kota standardowo około 25 dBA,
rekordzista kot Smoke - 92,7 dBA**



Kosiarka spalinowa do trawnika 80 dBA



Falowanie morza ponad 40 dBA



Odkurzacze domowe około 50 - 70 dBA



Suszarki do włosów około 70-80 dBA



Praca pralki automatycznej około 70-80 dBA



Praca świetlówki – 49,9 dBA



Wentylator łazienkowy 64,3 dBA



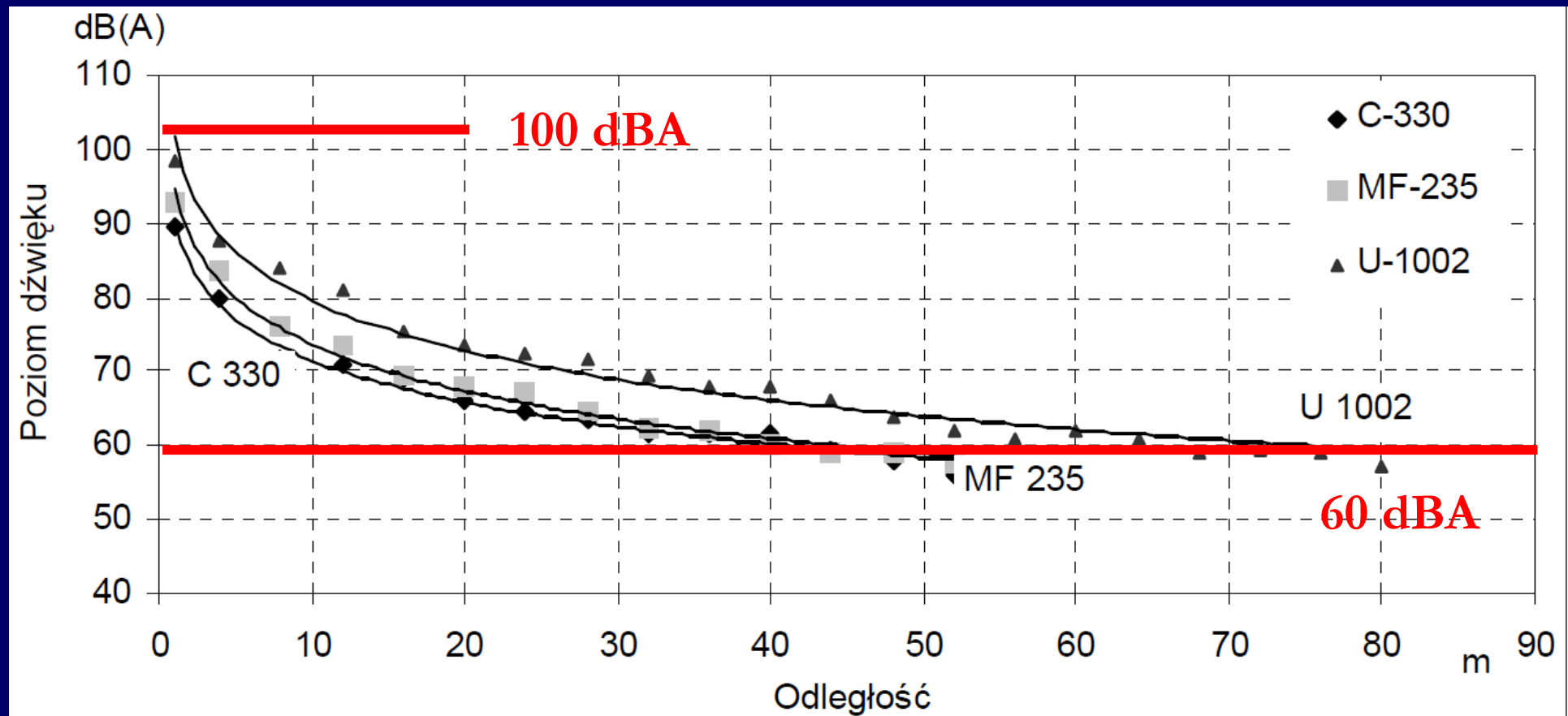
Wentylator okap – 74,0 dBA



Poziom 49,9 dB



Poziom dźwięku ciągników rolniczych Ursus C 330, Massey Ferguson 235 i Ursus U 1002



Ciągniki gąsienicowe podczas orki w kabinie (108-113) dBA

**B. Cieślowski, Z. Ślipek Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie**

Kombajn zbożowy hałas w kabinie około 82-95 dBA



**B. Cieślowski, Z. Ślipek Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie**

Kabina samochodu osobowego 60-90 dBA



Chevrolet Orlando 2 lata silnik benzynowy



Postój na luzie ok. 900 obrotów 46,3 dBA



Postój 3000 obrotów 64,3 dBA



Ford Focus Combi 12 lat silnik wysokoprężny



Postój na luzie ok. 900 obrotów 59,7 dBA



Postój 3000 obrotów 73,9 dBA

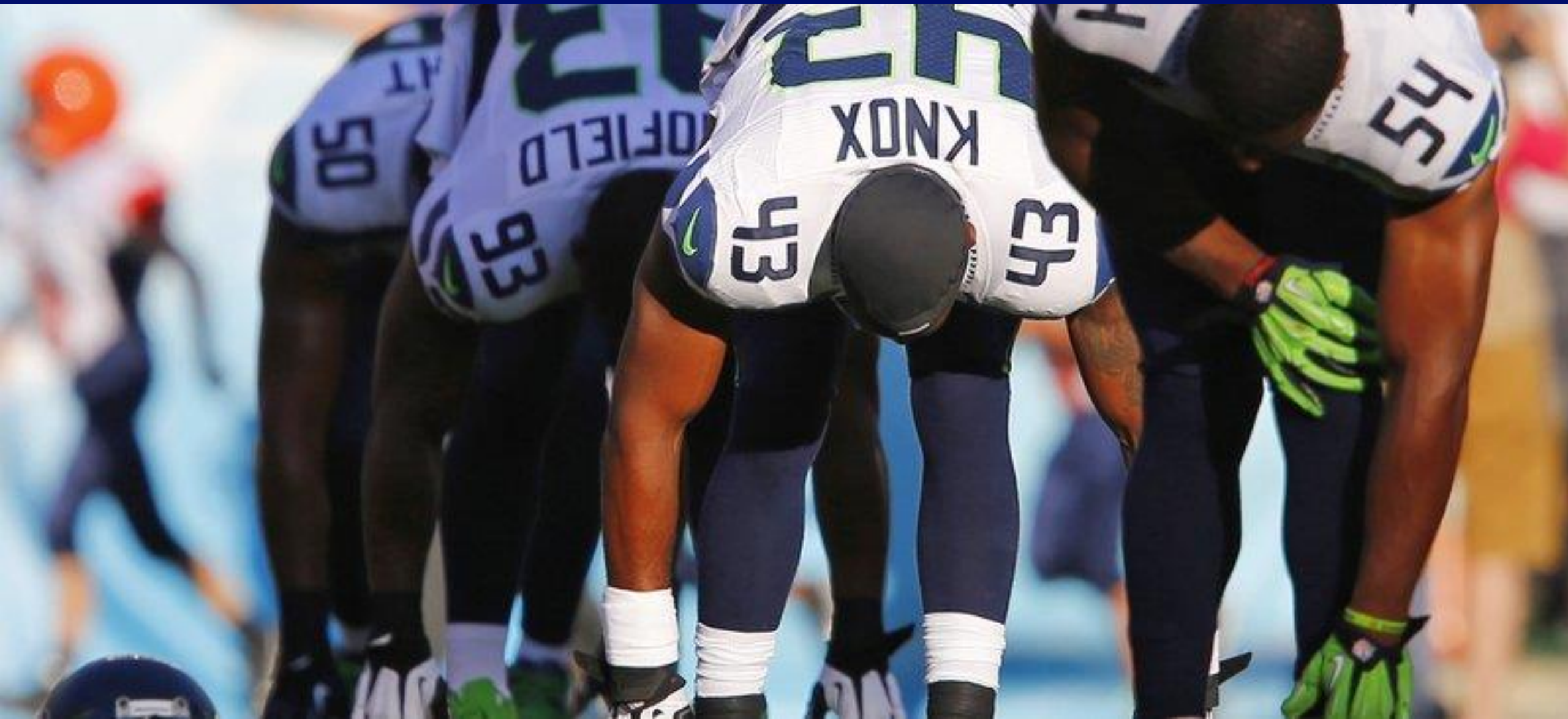



Opony zimowe ok. 70 dBA



15 września 2013 r. 70 tys. fanów drużyny Seattle Seahorse ustanowiło rekord Guinnessa **131,9 dB** na najgłośniejszy doping kibiców na stadionie.

Ponadto sejsmografy w okolicy zanotowały... małe trzęsienie ziemi o sile 1 Richtera





**Natężenie dźwięku emitowanego
przez turbiny wiatrowe
a odległość od zabudowań
mieszkalnych**

Zasady dotyczące lokalizacji farm wiatrowych od zabudowy mieszkalnej w Europie

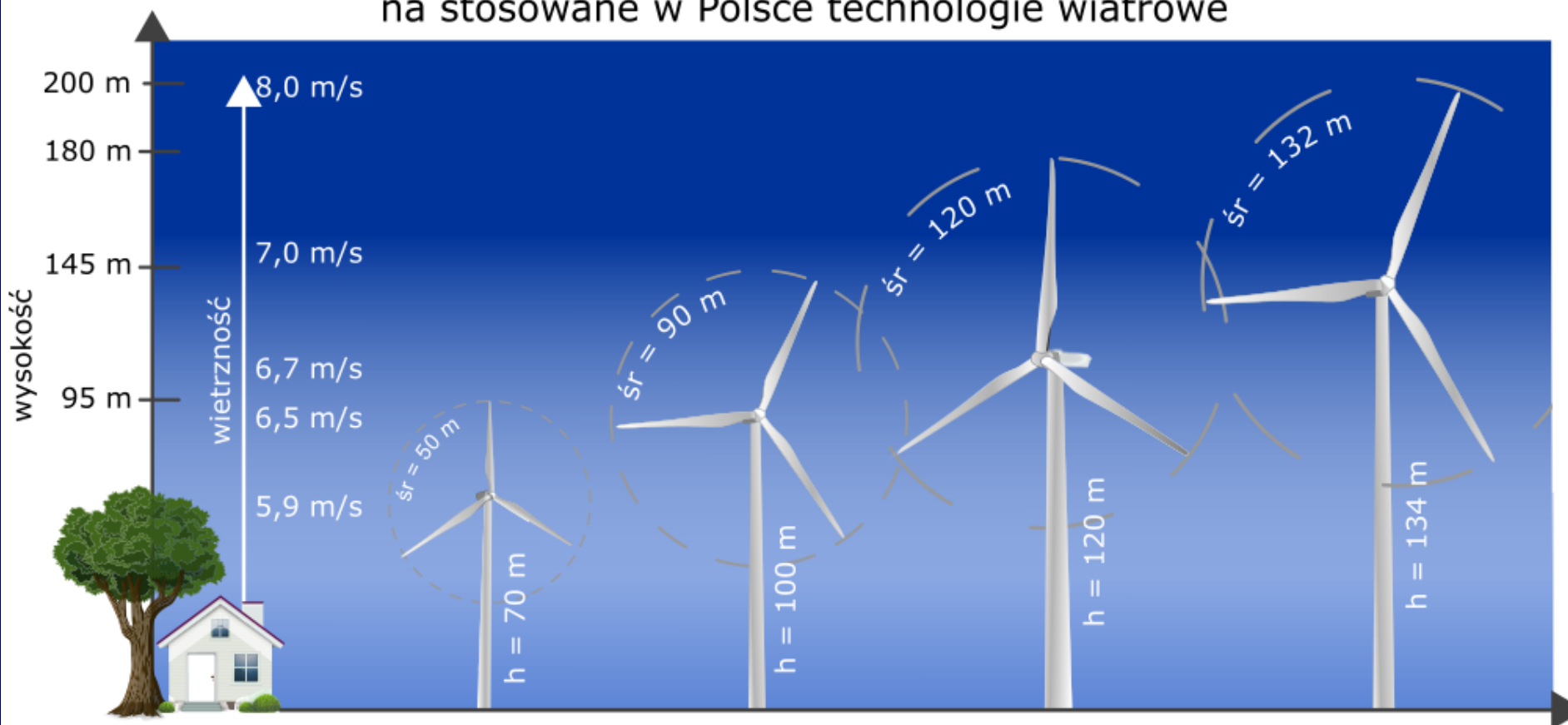
- **Belgia** – 350 m, w rzeczywistości duże turbiny stawia się nie mniej niż 500 m, jednak spotyka się i 150 m.
- **Czechy** – nie ma żadnych specjalnych regulacji, w praktyce 400-800 m.
- **Anglia i Walia** – prawo precedensowe. Decyzje sądu: 550 m a nawet 350 m. Poziom dźwięku nie więcej niż o 5 dB ponad tło (czyli np.: z 38 dB może wzrosnąć na max 43 dB).
- **Niemcy** – (35-45) dB w zależności od regionu akustycznego, czyli w praktyce już 300-600 m.
- **Francja** – poziom dźwięku nie więcej niż (3-5) dB ponad tło, w praktyce od około 500 m.
- **Szwajcaria** – od 300 m.
- **Holandia** – poziom dźwięku (40-44) dB lub oddalenie o 4 wysokości turbiny.
- **Szwecja** – poziom dźwięku 40 dB, minimum 350 m.
- **Rumunia** – oddalenie o 3 wysokości turbiny.

Polska Ustawa „antywiatrakowa” z 1 lipca 2016 r. regulacje należały do najbardziej restrykcyjnych w Europie

Minimalna odległość od budynków mieszkalnych z wyłączeniem Węgier



Wpływ ustawy o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych na stosowane w Polsce technologie wiatrowe



Min. odległość od domów	1 km	1,5 km	1,8 km	2 km
Technologia z lat	1990	2005	2015	2017
Moc turbiny	0,5 MW	2 MW	3 MW	3,3 MW
Wykorzystanie mocy	18%	25%	32%	44%
Roczna produkcja energii	0,8 GWh	4,4 GWh	8,4 GWh	12,7 GWh
Teren wyłączony z zabudowy mieszkalnej na mocy ustawy	300 ha	700 ha	1090 ha	1260 ha

Nowelizacja „Ustawy wiatrakowej” - 23 kwietnia 2023 r.

- Dzięki nowelizacji farmy wiatrowe będzie można budować **700 m** od zabudowań mieszkaniowych, a nie jak przewidywał projekt - **500 m**
- Nowe przepisy mają po latach odblokować inwestycje wiatrowe. Ale czy na pewno ?
- PSEW nie ma złudzeń w tym zakresie



Infradźwięki generowane pracą turbin wiatrowych w zakresie 1-20 Hz



**Źródła
infradźwięków**



Naturalne źródła infradźwięków

- wiatry wiejące z dużymi prędkościami w grotach i pieczarach górskich i morskich



Naturalne źródła infradźwięków

- wiatry opływające wysokie budynki



Naturalne źródła infradźwięków

- grzmoty, towarzyszące piorunom



Naturalne źródła infradźwięków

- falowanie powierzchni mórz, oceanów i dużych jezior, a także prądy podwodne



Naturalne źródła infradźwięków

- wodospady (rezonans obszaru między skałą a płaszczem wodnym)



Naturalne źródła infradźwięków

- trzęsienia ziemi (fale sejsmiczne), wulkany, lawiny, huragany, tornada
- naturalny rezonans jonosferyczny w szczególności bardziej w czasie występowania zórz polarnych



Naturalne źródła infradźwięków

- zwierzęta takie jak tygrysy, słonie czy wieloryby wykorzystują infradźwięki w celu porozumiewania się



Sztuczne źródła infradźwięków

- **transport kolejowy, a także ruch drogowy** mogą wywoływać lokalne pole infradźwiękowe w pasie nawet ok. 200 metrów wzdłuż szlaków komunikacyjnych
- **środki transportu lądowego**
 - samochody - w szczególności ciężarówki i autobusy,
 - tramwaje, pociągi,
- **środki transportu lotniczego**
 - helikoptery, odrzutowce,
- **środki transportu wodnego**
 - statki, okręty, promy,
 - kutry, szybkie motorówki,
 - jachty dalekomorskie.



Sztuczne źródła infradźwięków

- telefony komórkowe i pagery



Sztuczne źródła infradźwięków

- urządzenia gospodarstwa domowego np. : miksery, malaksery, młynki do kawy, lodówki, odkurzacze i wiertarki



Sztuczne źródła infradźwięków

- maszyny drogowe



Sztuczne źródła infradźwięków

- urządzenia elektrowni konwencjonalnych ciepłych parowych, jak: młyny węglowe, maszynownie, kominy, kotły i wentylatory kotłowe



Sztuczne źródła infradźwięków

- systemy kanalizacyjne, urządzenia chłodzące i ogrzewające powietrze, rurociągi



Sztuczne źródła infradźwięków

- masy wody w zaporach i kanałach wodnych



Sztuczne źródła infradźwięków

- pompy próżniowe i gazowe, wentylatory przemysłowe, dmuchawy, turbodmuchawy oraz ssawy
- nitownice i młoty pneumatyczne oraz kuźnicze
- sprężarki tłokowe
- przesiewacze wykorzystywane w młynach zbożowych,
- elektryczne piece łukowe i konwertory tlenowe
- urządzenia odlewni, takie jak : kraty wstrząsowe i formierki wstrząsowo-prasujące, wieże wiertnicze,
- wybuchy jądrowe lub termojądrowe



Miara oddziaływania hałasu infradźwiękowego poziom natężenia dźwięku (dBG)

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z 29.11.2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.

Najwyższe dopuszczalne natężenia (NDN) hałasu infradźwiękowego Środowisko pracy

Wielkość charakteryzująca hałas infradźwiękowy	Wartość dopuszczalna	
Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub tygodnia pracy $L_{G\ eq, 8h}/L_{G\ eq, w}$, w dB	102	86
Szczytowy nieskorygowany poziom ciśnienia akustycznego $L_{LIN\ peak}$ w dB	145	135



**Infradźwięki w zależności od źródła
mogą mieć poziom ciśnienia
akustycznego od kilkudziesięciu
do 160 dBG**

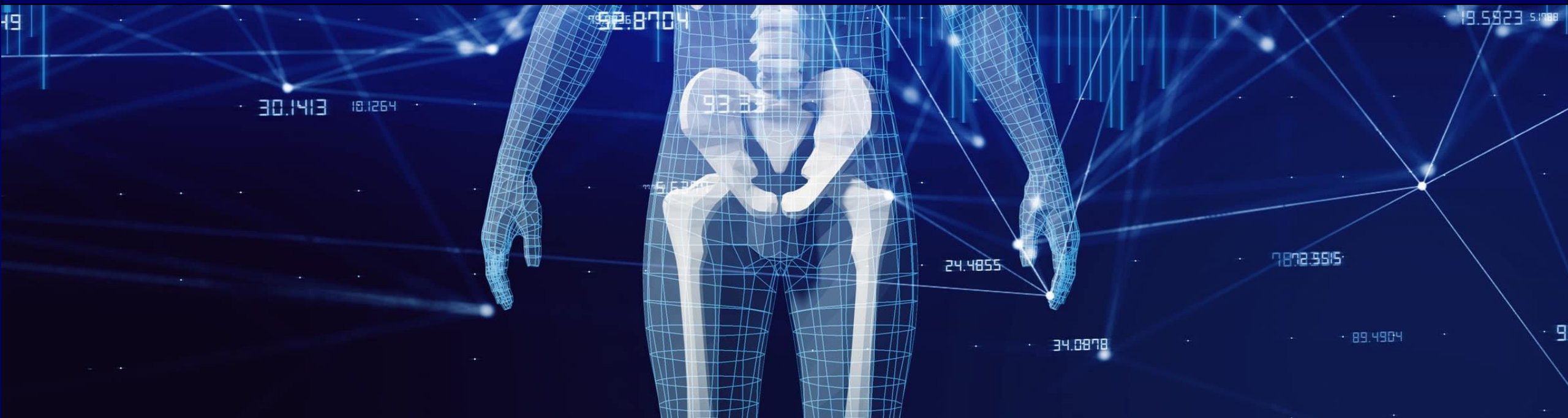
Porównanie wybranych źródeł infradźwięków z odpowiadającym im poziomem ciśnienia akustycznego i zakresem częstotliwości



Źródło	Przybliżona częstotliwość (Hz)	Przybliżony poziom ciśnienia akustycznego (dB)
Geofizyczne	< 0,01-10	54-104
Grzmot na wys.1 km	< 4-125	<114
Trzęsienie ziemi	<1	
Fale oceaniczne	<1	
Wiatr –100 km/h	<1	135
Wiatr – 25 km/h	<1	110
Zmiany ciśnienia atmosferycznego	<1	100
Wulkan	<1	
Bieganie	<2	95
Pływanie	<2	140
Nurkowanie – głębokość do 2m	-1	180
Uderzenie w ucho	< 0.5	170
Przemysł	5-100	70-110
Silniki Diesla	10-20	110
Turbina wiatrowa- w odległości 150m	2-10	80
Wentylacja/klimatyzacja	1-20	60-90
Silniki odrzutowca	1-20	135
Silniki odrzutowca-pod torem lotu na lotnisku	10-1000	135
Fala uderzeniowa przy przekroczeniu bariery dźwięku	1-100	120-160
Maszynownia statku		133
Fala uderzeniowa przy wybuchu	< 1-100	Bez limitu
Duża rakiet – w odległości ok. 1,6 km	1-200	130
Helikopter	5-20	130
Wnętrze samochodu – przy zamkniętych oknach	5-100	100
Wnętrze samochodu – przy otwartych oknach	1-30	120
Zestaw głośnikowy-słuchawkowy	1-200	146



Na podstawie badań klinicznych nie stwierdzono występowania objawów fizjologicznych jak i psychologicznych u ludzi przy poziomach infradźwięków do 120 dBG i oddziaływaniu krótkotrwałym

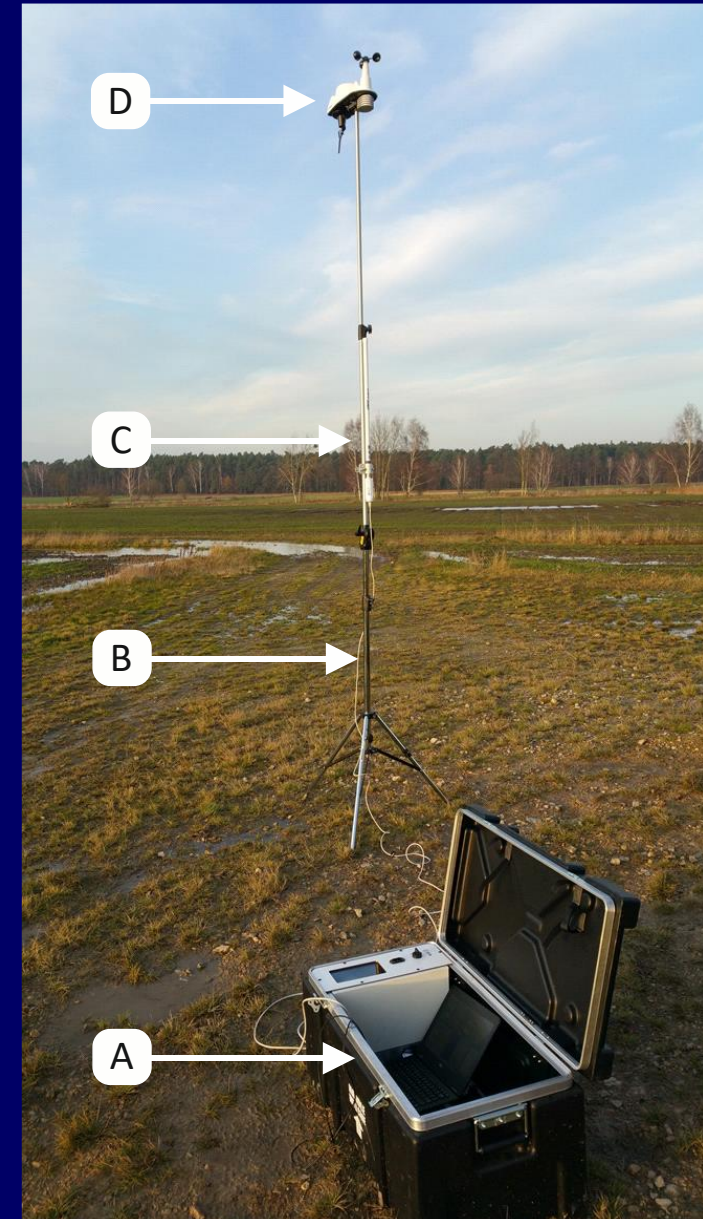
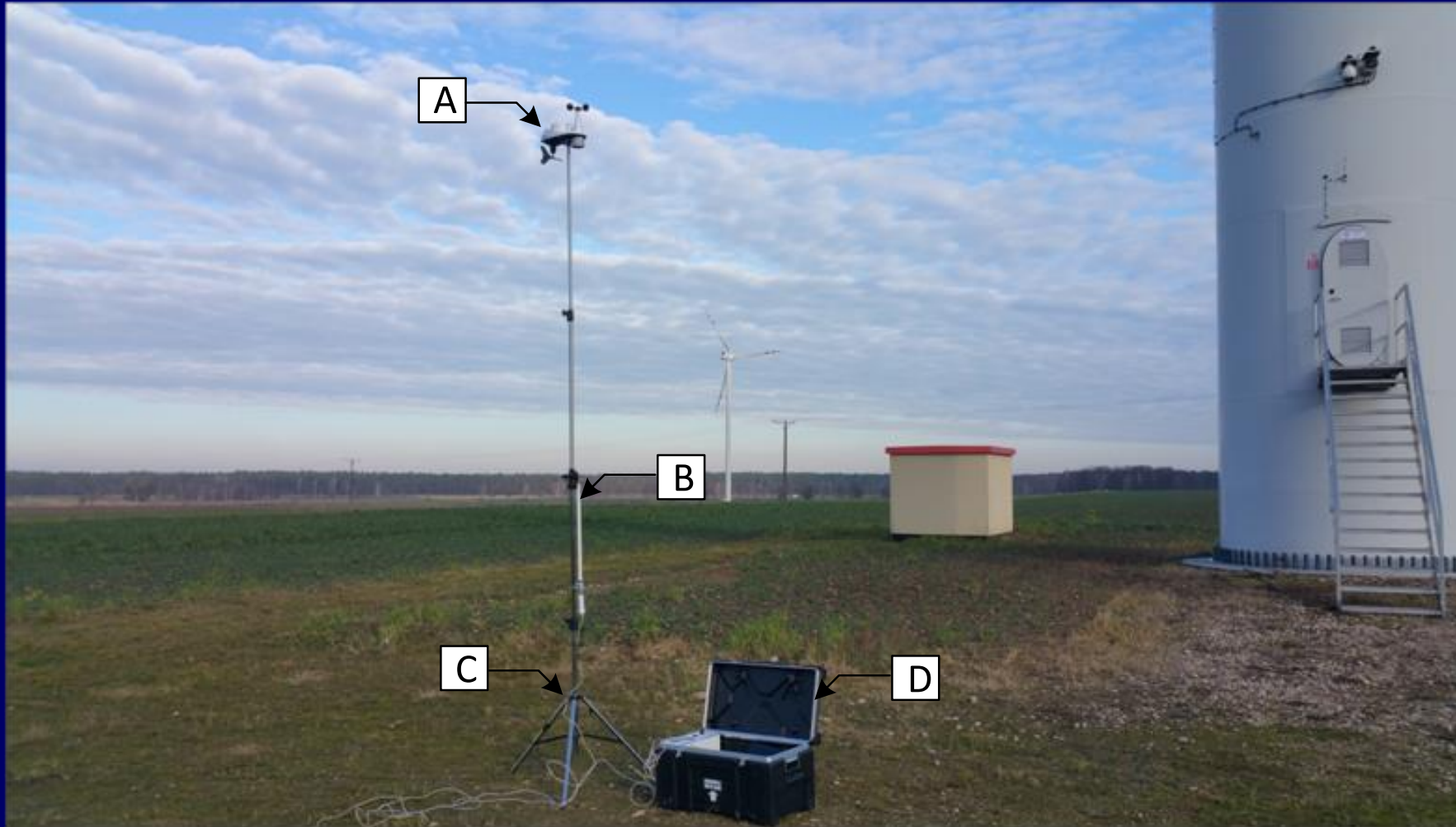


Autorski system pomiarowy infradźwięków INFRA

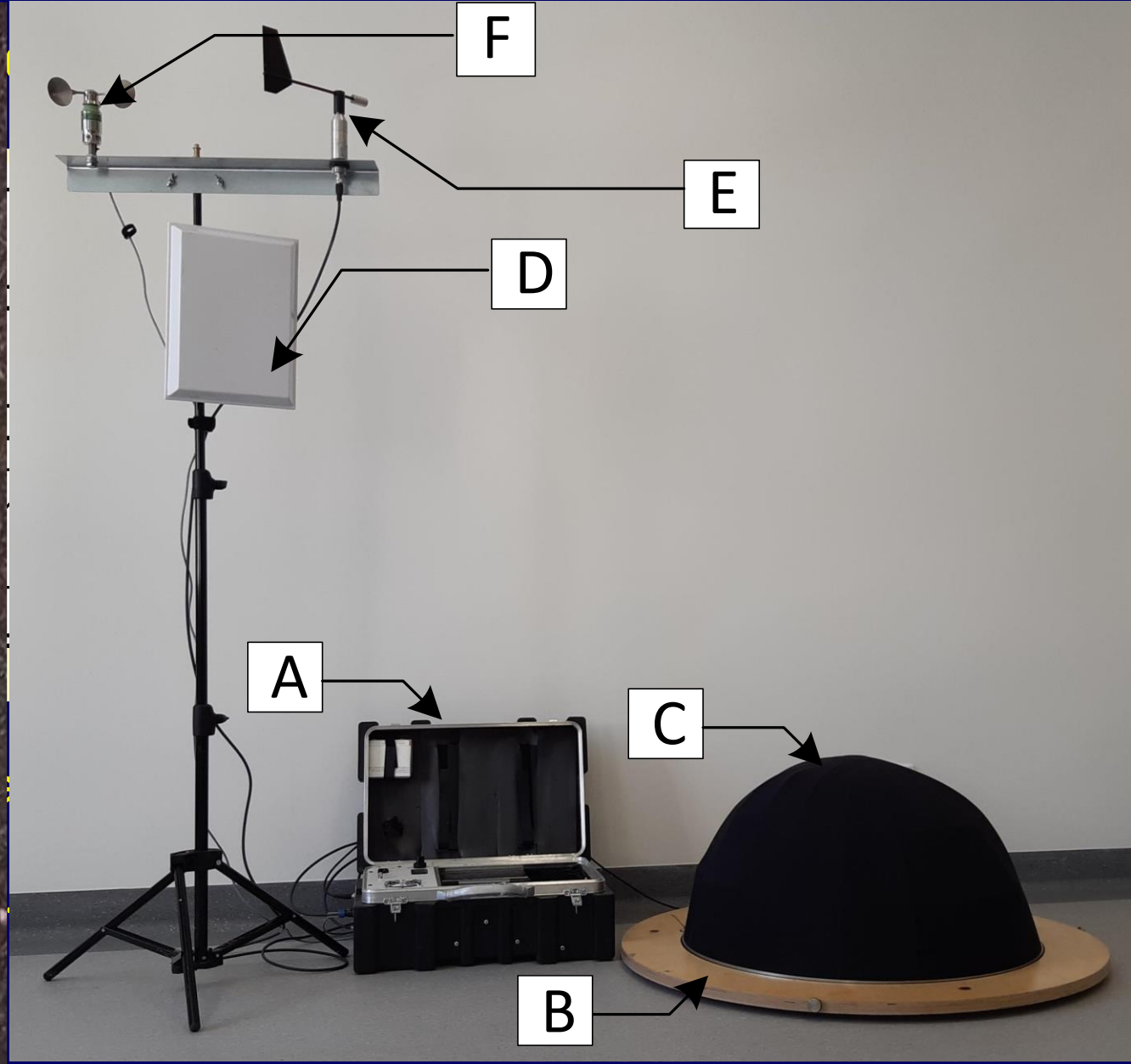
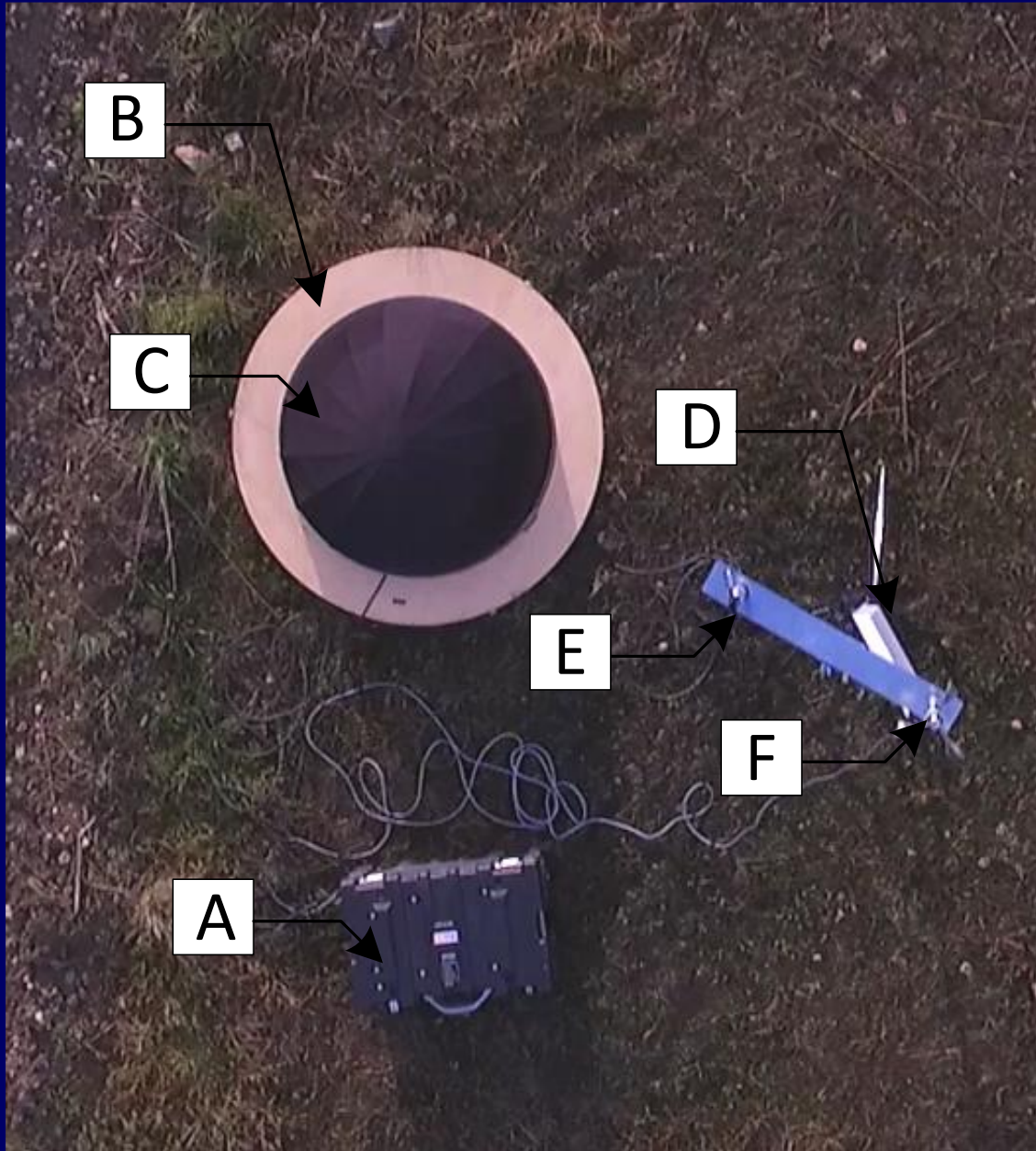


Autorski system pomiarowy infradźwięków INFRA

Stacja bazowa



Autorski system pomiarowy infradźwięków INFRA



Wyniki pomiarów własnych turbina wiatrowa REPOWER typ M92 o mocy 2 MW



Metodyka pomiarowa turbina wiatrowa REPOWER typ M92 o mocy 2 MW

ST_1



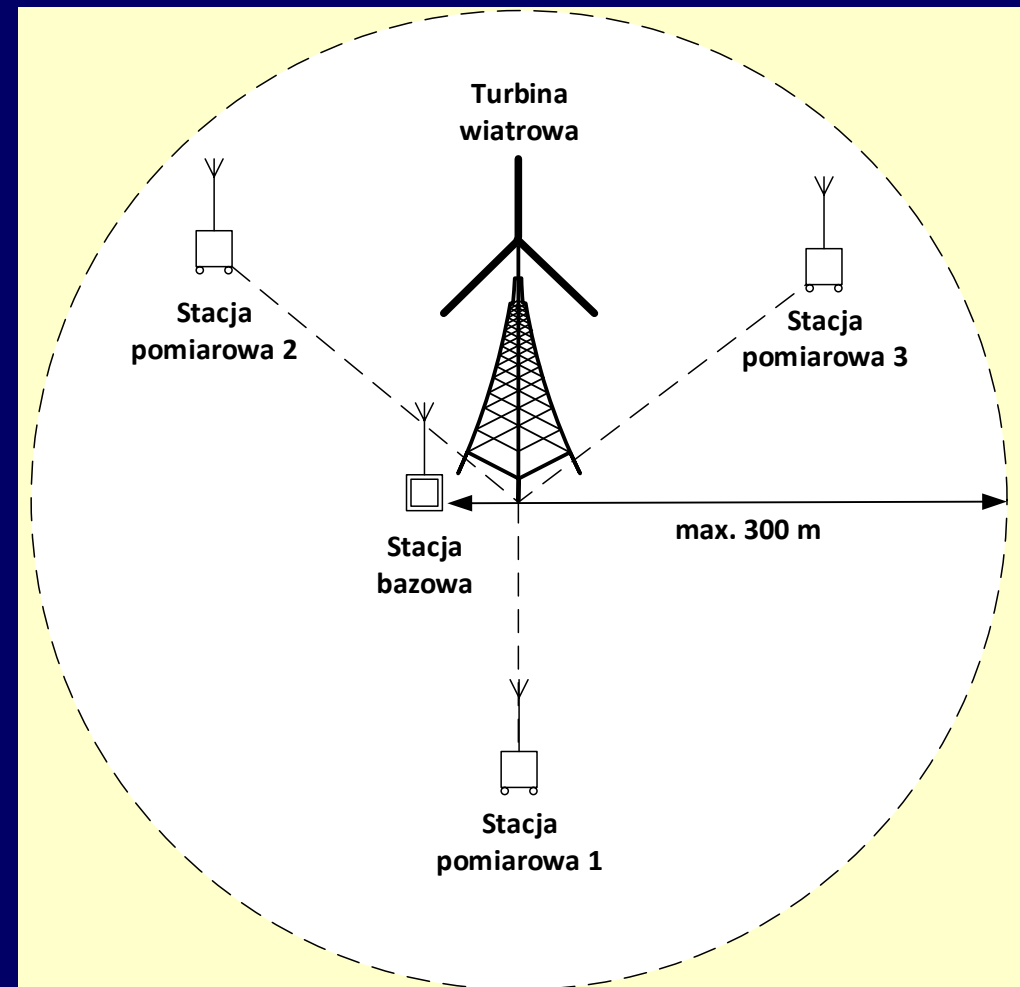
ST_2



Stacja bazowa

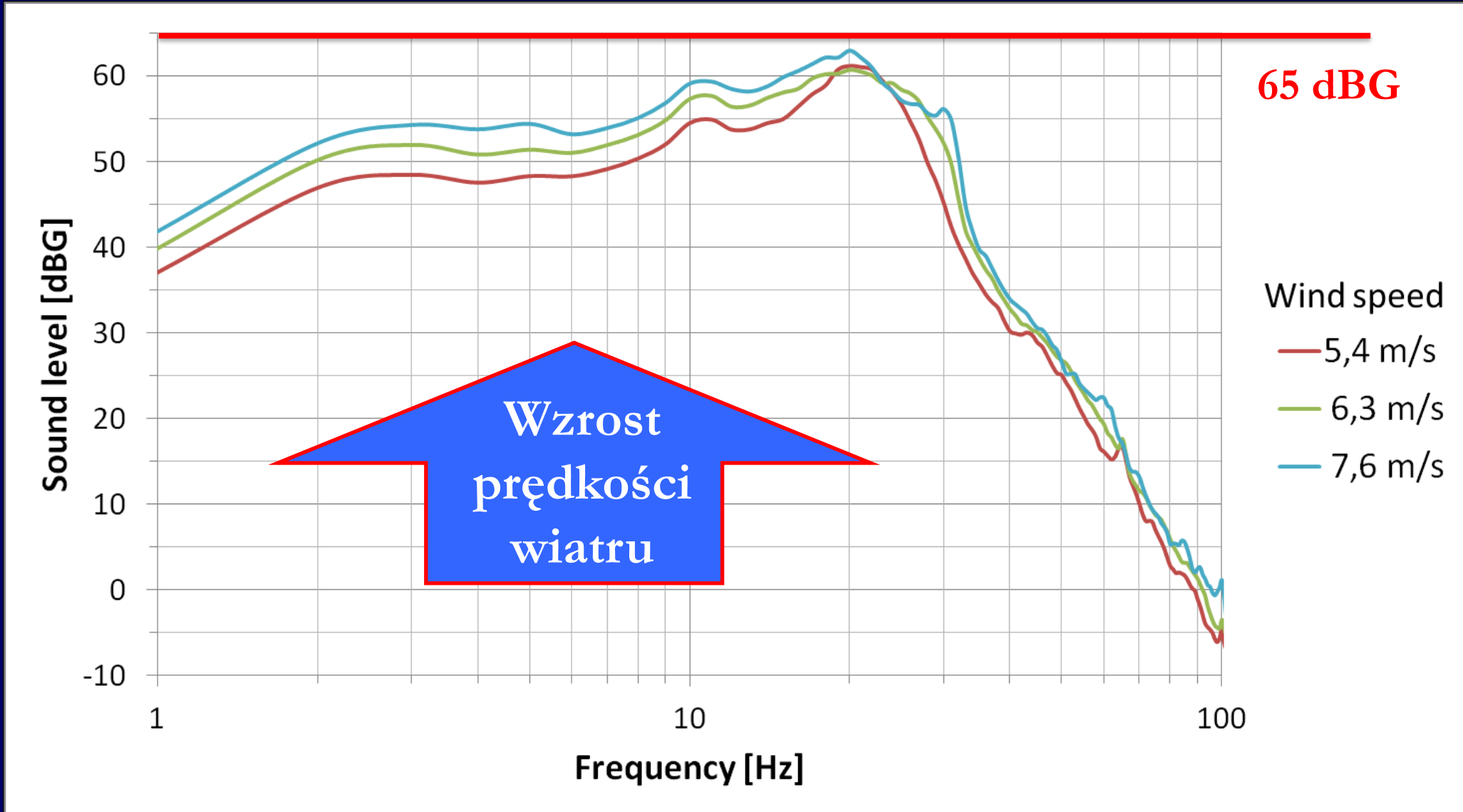


ST_3

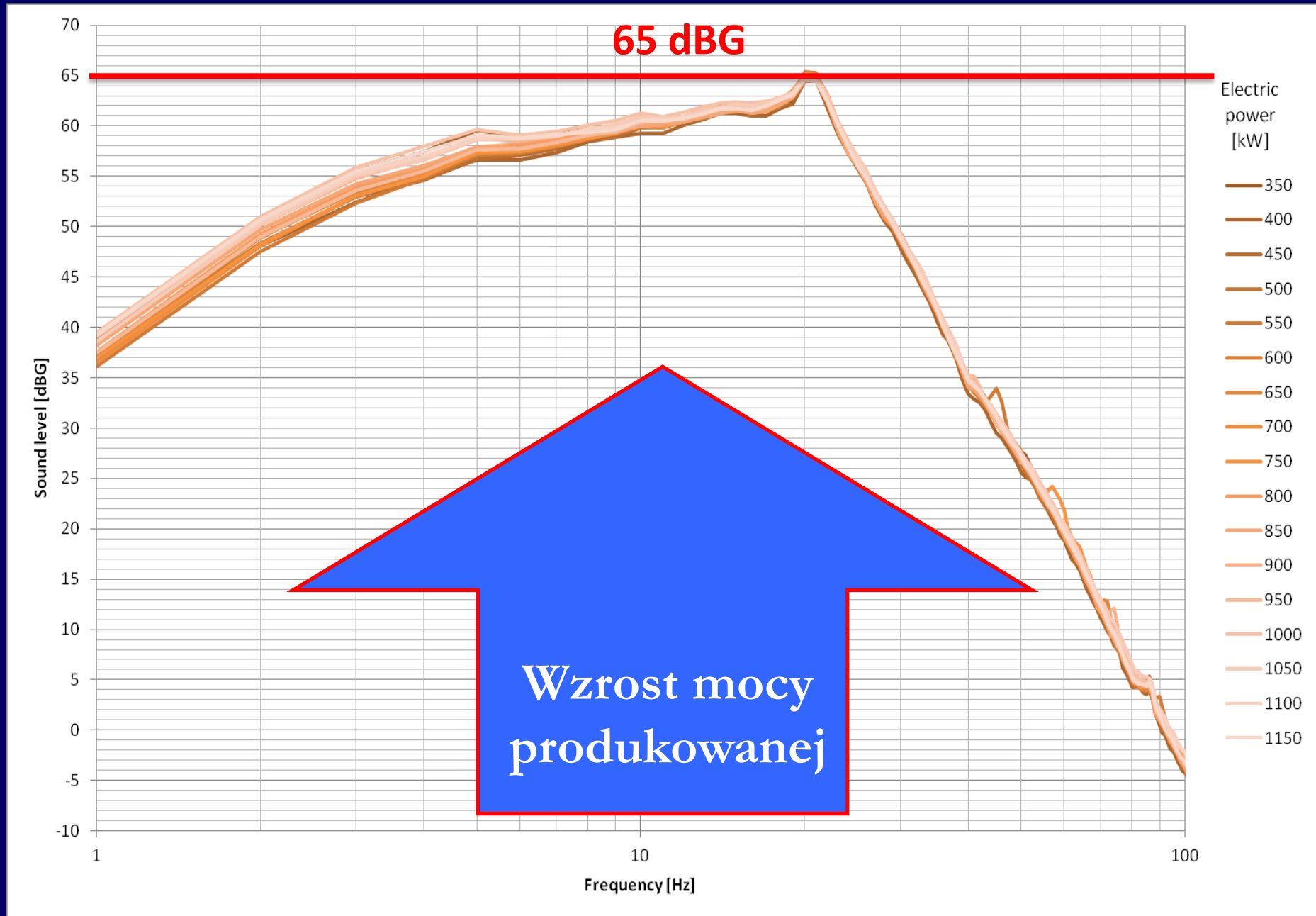


Turbina wiatrowa REPOWER typ M92 o mocy 2 MW

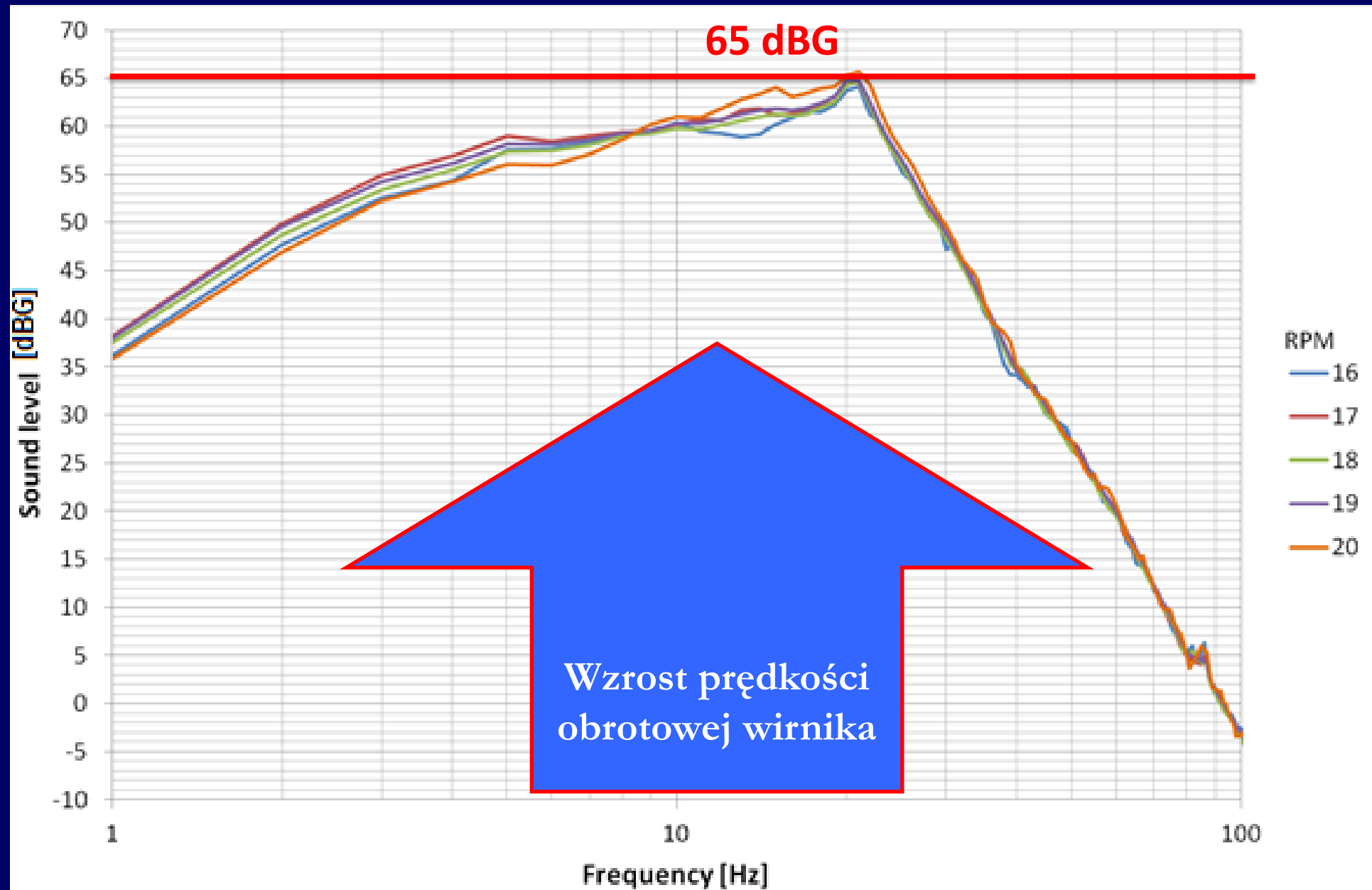
Wpływ zmiany prędkości wiatru



Wpływ zmiany wielkości produkcji energii elektrycznej



Wpływ zmiany prędkości obrotowej wirnika





Uogólniając

Poziom infradźwięków generowanych pracą turbin wiatrowych zarówno starych konstrukcji jak i nowoczesnych, niezależnie od prędkości wiatru, ich mocy znamionowych i odległości od pracującego generatora, znajduje się znacznie poniżej ludzkiego progu odczuwalności (słyszalności).

*„ Nie możesz zmienić kierunku wiatru,
ale możesz zmienić kierunek swoich
żagli, by osiągnąć swój cel ”*

Jimmy Dean





Dziękuję za uwagę