Załącznik 2a

Dr inż. Adam Zagubień

Katedra Mechaniki Budowli

Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji

Politechnika Koszalińska

Autoreferat

(opis dorobku i osiągnięć naukowych)

Koszalin 2018

Adam Zagubień

1. Życiorys naukowy

W 1988 roku podjąłem studia na kierunku budownictwo w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Koszalinie na Wydziale Inżynierii Lądowej i Sanitarnej. W trakcie studiów (na piątym roku), tj. od 1.10.1992 r. do 30.06.1993 roku, odbyłem staż asystencki w Katedrze Mechaniki Budowli WSInż. w Koszalinie. Tematem mojej pracy dyplomowej była: „Analiza statyczna belki Timoszenki na dwuparametrowym podłożu sprężystym" zrealizowana w Katedrze Mechaniki Budowli WSInż. w Koszalinie, pod kierunkiem prof. dr. inż. Jana Filipkowskiego. W dniu 16.06.1993 r. złożyłem egzaminy otrzymując ocenę bardzo dobrą i uzyskując tytuł magistra inżyniera budownictwa o specjalności konstrukcje budowlane i inżynierskie. W okresie od 1.11.1993 r. do 30.09.2002 roku byłem zatrudniony na stanowisku asystenta w ww. Katedrze. Od początku pracy w Katedrze Mechaniki Budowli moje zainteresowania skupione były na badaniach laboratoryjnych właściwości mechanicznych tkanin tekstylnych stosowanych do przekryć dachowych o znacznych rozpiętościach podpór oraz na badaniach terenowych klimatu akustycznego. Efektem pracy naukowo-badawczej było otwarcie (2000 r.) przewodu doktorskiego przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej i Sanitarnej Politechniki Koszalińskiej. Po dwuletnim okresie pracy, w 2002 roku, złożyłem rozprawę doktorską zatytułowaną: „Badania laboratoryjne i identyfikacja niesprężystych właściwości materiałowych tkaniny powlekanej typu Panama". W dniu 6.06.2002 roku odbyła się publiczna obrona, w wyniku której uzyskałem stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej budownictwo, nadany przez Radę Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska (WBiIŚ) Politechniki Koszalińskiej. Od 1.10.2002 roku zostałem zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Mechaniki Budowli WBiIŚ Politechniki Koszalińskiej, gdzie pracuję do dziś. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora moje zainteresowania skupiały się na badaniach właściwości materiałowych tkanin technicznych oraz na identyfikacji problemów wibroakustycznych w środowisku. Efektem tych zainteresowań jest kilkadziesiąt artykułów opublikowanych w czasopismach krajowych i zagranicznych oraz referatów na krajowych i zagranicznych konferencjach. Miarą mojego dorobku publikacyjnego po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych są: ilość cytowań i indeks Hirscha, wg bazy Web of Science, które wynoszą odpowiednio: 33 (21 bez autocytowań) i 3, sumaryczny impact faktor wg JCR równy 10,436 lub liczba punktów 198,6 (z uwzględnieniem mojego procentowego udziału), określona na podstawie listy MNiSW. Ilość cytowań i indeks Hirscha, wg bazy Google Scholar, wynoszą odpowiednio: 76 i 4. Mój średni udział procentowy w cyklu publikacji powiązanych tematycznie wynosi 73,3 %. Recenzowałem trzy artykuły naukowe do czasopism z impact factor. Moja aktyw-

ność naukowa połączona była również ze stażami w zagranicznych ośrodkach naukowych: Polytech'Lille Dép. Mécanique Cité Scientifique (Francja), Ecole Nationale Superieure d'Ingenieurs de Bourges (Francja), czego efektem są wspólne badania i publikacje. Podjęta przeze mnie tematyka oceny klimatu akustycznego wokół turbin wiatrowych jest opisywana również przez innych badaczy. Od około 15 lat obserwuje się wyraźny wzrost publikacji dotyczących hałasu turbin wiatrowych. Należy jednak mieć na uwadze, że opisywane zjawiska uwarunkowane są technicznie, przyrodniczo i geograficznie, o czym piszę na kolejnych stronach. Uwarunkowania techniczne, to przede wszystkim różne typy turbin dostosowane do klimatu panującego w miejscu instalacji. Położenie geograficzne warunkuje klimat miejsca lokalizacji farmy wiatrowej, szczególnie charakterystykę wiatrów. Uwarunkowania przyrodnicze, to przede wszystkim roślinność specyficzna dla określonej lokalizacji farmy wiatrowej, wpływająca na propagację fali dźwiękowej. Zatem opisywane przez badaczy metody oceny klimatu akustycznego są specyficzne i dopasowane do obszaru geograficznego. Bezpośrednie cytowanie i przenoszenie metod stosowanych w jednym regionie na inny może prowadzić do znacznych błędów.

W okresie pracy na Politechnice Koszalińskiej byłem kierownikiem badań własnych i współwykonawcą badań statutowych oraz uczestniczyłem jako wykonawca w realizacji wielu projektów badawczych finansowanych ze środków pozauczelnianych. W latach 2006-2008 byłem Kierownikiem Laboratorium Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Budowlanych i w ramach tej funkcji byłem koordynatorem badań realizowanych przez pracowników Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska oraz odpowiadałem za badania realizowane we współpracy z podmiotami gospodarczymi. W ramach współpracy z przemysłem kierowałem różnymi projektami oraz opracowywałem ekspertyzy. W latach 2009 – 2012 byłem kierownikiem do spraw badań w akredytowanym laboratorium EKO-POMIAR s.c. w Koszalinie. Moja działalność zawodowa, związana jest również ze współpracą z różnymi podmiotami gospodarczymi i obejmuje wykonanie ponad 300 projektów badawczych, analiz numerycznych, pomiarów terenowych oraz ekspertyz technicznych.

W ramach dotychczasowej działalności dydaktycznej prowadziłem zajęcia projektowe, laboratoryjne, ćwiczeniowe oraz wykłady z przedmiotów: ochrona środowiska przed drganiami i hałasem, fizyka budowli, mechanika techniczna, wytrzymałość materiałów, mechanika budowli z elementami ujęcia komputerowego, podstawy informatyki, dynamika konstrukcji oraz teoria sprężystości i plastyczności. Moja działalność dydaktyczna została oceniona przez studentów w anonimowych ankietach na przestrzeni ostatnich lat na ocenę średnią 4,8

(przy max. 5,0). Byłem recenzentem 28 prac inżynierskich i magisterskich oraz promotorem 34 prac.

2. Stopnie naukowe, dyplomy, świadectwa i certyfikaty

- Dyplom technika budownictwa o specjalności konstrukcje stalowe, Technikum Budowlane w Koszalinie – 1988 r.
- Dyplom magistra inżyniera budownictwa o specjalności konstrukcje budowlane i inżynierskie, Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie – 1993 r.
- Certyfikat (Urkunde) ukończenia szkolenia w zakresie pomiarów tensometrycznych – Meßtechnik GmbH, Warszawa 1995 r.
- Certyfikat (Urkunde) ukończenia szkolenia w zakresie obsługi zaawansowanej aparatury pomiarowej – Meßtechnik GmbH, Warszawa 1996 r.
- Świadectwo ukończenia podyplomowego studium pedagogicznego, Politechnika Koszalińska – 1997 r.
- Biegły Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w zakresie sporządzania ocen oddziaływania na środowisko, nr 1333 – 1998 r.
- Biegły Wojewody Zachodniopomorskiego w zakresie sporządzania ocen oddziaływania na środowisko, branża wiodąca: ochrona przed hałasem, wibracjami i promieniowaniem, nr Ś-020 – 1999 r.
- Dyplom doktora nauk technicznych w dziedzinie budownictwo, na podstawie pracy pt.: „Badania laboratoryjne i identyfikacja niesprężystych właściwości materiałowych tkaniny powlekanej typu Panama" – 2002 r.
- Certyfikat komputerowych warsztatów naukowych – Koszalin 2003 r.
- Świadectwo udziału w szkoleniu „Pomiary hałasu w środowisku zewnętrznym – szacowanie niepewności pomiarów i opracowanie dokumentacji technicznej do akredytacji, CE2 Centrum Edukacji, Lublin 2007 r.
- Certyfikat audytora wewnętrznego Systemu Zarządzania wg normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005, wystawiony przez firmę Marcin Sowa – Szczecin 2009 r.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1992-1993, stażysta asystent (w trakcie studiów) w Katedrze Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej i Sanitarnej, WSInż w Koszalinie.
- 1993-2002, asystent w Katedrze Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Koszalińska.

- 2002-2011, adiunkt w Katedrze Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Koszalińska.
- 2011-2018, starszy wykładowca w Katedrze Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska (aktualnie Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji), Politechnika Koszalińska.

4. Osiągnięcia naukowe wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Metody oceny oddziaływania farm wiatrowych o dużych mocach na środowisko akustyczne

b) Cykl publikacji powiązanych tematycznie:

[1] **Zagubień A.**, 2018, Analysis of Acoustic Pressure Fluctuation around Wind Farms, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 27, No. 6, pp.2843-2849.

[2] **Zagubień A**., 2017, Wyniki pomiarów i analiz oddziaływania farm elektrowni wiatrowych na klimat akustyczny, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 19, pp.527-539.

[3] **Zagubień A**., Ingielewicz R., 2017, The analysis of similarity of calculation results and local measurements of wind farm noise, Measurement, Vol. 106, pp.211-220.

[4] **Zagubień A.**, Wolniewicz K., 2016, Every Exposure to Occupational/Non-Occupational Infrasound Noise In Our Life, Archives of Acoustics, Vol. 41, No. 4, pp.659-668.

[5] **Zagubień A.**, 2016, Pozazawodowe narażenie na hałas niskoczęstotliwościowy, analiza na podstawie wybranego środka transportu, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 18, No. 1, pp.626-641.

[6] Ingielewicz R., **Zagubień A.**, 2016, Problemy oceny hałasu farm elektrowni wiatrowych na podstawie terenowych pomiarów kontrolnych, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 18, No. 1, pp.531-549.

[7] Ingielewicz R., **Zagubień A.**, 2014, Infrasound Noise of Natural Sources in the Environment and Infrasound Noise of Wind Turbines, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 23, No. 4, pp.1323-1327.

[8] Ingielewicz R., **Zagubień A.**, 2014, Tłumienie gruntu w analizach akustycznych farm wiatrowych, Pomiary Automatyka Kontrola, Vol.60, No. 2, pp.118-121.

[9] Ingielewicz R., **Zagubień A.**, 2013, Pomiar hałasu infradźwiękowego wokół farmy wiatrowej, Pomiary Automatyka Kontrola, Vol.59, No. 7, pp.725-727.

[10] Ingielewicz R., **Zagubień A.**, 2004, Hałas elektrowni wiatrowych a ochrona środowiska", Konferencja Ochrony Środowiska, Zarządzanie Środowiskiem Akustycznym, materiały konferencyjne, Wrocław, pp. 168-176.

[11] Ingielewicz R., **Zagubień A.**, 2002, Pomiary i analiza hałasu infradźwiękowego towarzyszącego pracy elektrowni wiatrowej, Hałas – Profilaktyka – Zdrowie, rozdział w monografii, Kołobrzeg, pp. 93-99.

[12] Ingielewicz R., **Zagubień A.**, 2002, Pomiary i analiza numeryczna hałasu wokół farmy elektrowni wiatrowej, Hałas – Profilaktyka – Zdrowie, rozdział w monografii, Kołobrzeg, pp. 100-108.

c) Cel naukowy ww. prac, osiągnięte wyniki oraz ich wykorzystanie.

Filozof, Immanuel Kant powiedział: „wszystka wiedza pochodzi z doświadczenia". Kierując się tym przesłaniem całość mojej działalności naukowej opiera się na przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych i terenowych realizowanych w projektach badawczych oraz we współpracy z przedsiębiorcami. Stanowią one podwaliny mojego dotychczasowego rozwoju naukowego. W pracy doktorskiej skoncentrowałem się na zaprogramowaniu i realizacji eksperymentów, które pozwoliły zidentyfikować niesprężyste właściwości materiałowe tkaniny tekstylnej. Równolegle rozwijałem swoje umiejętności w pomiarach wibroakustycznych w środowisku. Tematyka ta wpisuje się w nurt Zrównoważonego Rozwoju w Środowisku. Pozwala na określenie parametrów fizycznych, których emisja do środowiska nie spowoduje szkód w środowisku naturalnym oraz nie będzie stanowić zagrożenia dla zdrowia ludzi. Swoje rozważania skoncentrowałem na metodykach pomiarowych i obliczeniowych służących do oceny klimatu akustycznego w środowisku. Prowadząc liczne badania hałasu w środowisku, zauważyłem, że część norm i wytycznych stosowanych w ocenie klimatu akustycznego nie ma charakteru uniwersalnego i niezbędna jest ich korekta lub doprecyzowanie. Dotyczy to zarówno hałasu przemysłowego jak i komunikacyjnego [E – I]. Podczas prowadzenia badań niezbędne jest odróżnienie z jednej strony możliwych do obiektywnego zmierzenia zjawisk dźwiękowych oraz ich fizyczno-biologicznego oddziaływania, a z drugiej strony ocena subiektywnych i obiektywnych skutków oddziaływania hałasu na odbiorcę. Rodzaj i intensywność przeżyć, związanych z hałasem determinowana jest przez szereg czynników indywidualnych i społecznych, często wywoływanych czynnikami ekonomicznymi lub po prostu lękiem przed nieznanym. Dlatego liczne publikacje opisujące zrozumiałym językiem zasady działania nowych źródeł, np. turbin wiatrowych oraz specyficzną dla nich emisję dźwięków pozwalają ludności przełamać lęki przed nieznanym i bez uprzedzeń identyfikować ewentualne zagrożenia.

Swoje analizy skoncentrowałem głównie na źródle hałasu jakim jest turbina wiatrowa z poziomą osią obrotu, która obecna jest w naszym krajobrazie od zaledwie 20 lat – rys.1.

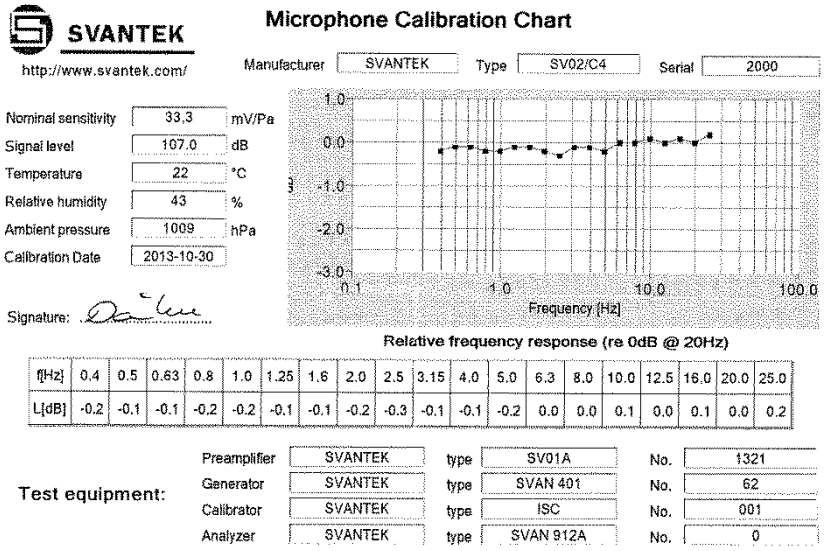
Rys. 1. Współczesna turbina wiatrowa

Wcześniej, w XVIII i XIX wieku, instalowane były w północnej Polsce pojedyncze turbiny wiatrowe spełniające funkcję młynów – rys.2. Jednak uległy one zniszczeniu i do dziś przetrwały jako nieliczne zabytki architektury.

Rys. 2. Zabytek architektury

Swoją przygodę z akustyką turbin wiatrowych zacząłem od analiz oddziaływania na środowisko pierwszej w Polsce farmy wiatrowej złożonej z 10 turbin o mocy 2 MW każda. Był to rok 1998. Podjęta współpraca z inwestorem dwóch największych w Polsce w tamtym czasie farm wiatrowych, poczynając od jej projektu, poprzez poszczególne etapy budowy, aż do pełnego uruchomienia elektrowni, umożliwiła mi przeprowadzenie szeregu pomiarów terenowych i obliczeń komputerowych hałasu emitowanego do środowiska podczas pracy elektrowni. Uzyskane wyniki wykorzystałem do dalszych badań. Były to: Farma Wiatrowa Cisowo 10 turbin o mocy 2 MW każda i Farma Wiatrowa Tymień 25 turbin o mocy 2 MW każda.

W pierwszej kolejności zająłem się identyfikacją zjawisk akustycznych zachodzących podczas pracy turbiny wiatrowej. Ze względu na dostępne w latach 90-tych dwudziestego wieku jedynie fragmentaryczne badania innych ośrodków naukowych dotyczące turbin wiatrowych przeprowadziłem szereg eksperymentów wstępnych. Wyniki opublikowane zostały na krajowych konferencjach tematycznych [10-12, N]. Do prowadzenia badań niezbędne było zgromadzenie wysokiej klasy aparatury pomiarowej. Zakupiony został analizator drgań i hałasu SVAN 912AE z kalibratorem akustycznym klasy 1. Następnie zestaw doposażono w wysokiej klasy mikrofon do pomiarów niskich częstości dźwięku, o liniowej charakterystyce od 0,4 Hz – rys.3.

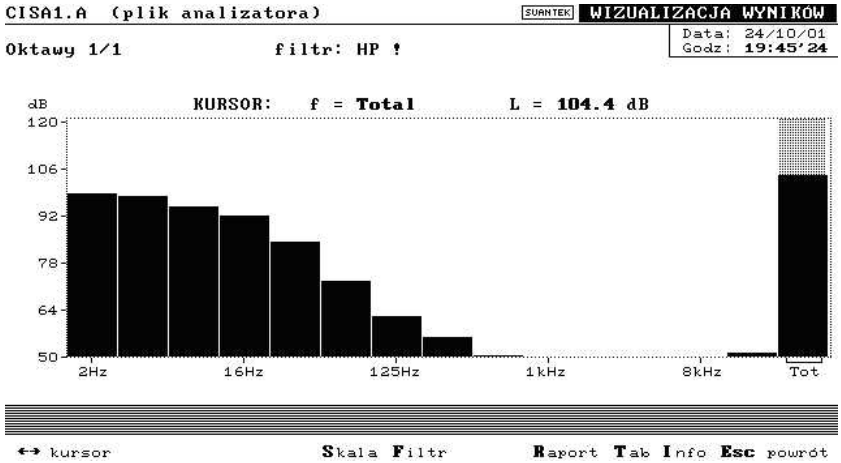


Rys. 3. Charakterystyka mikrofonu pomiarowego w zakresie niskich częstości ciśnienia akustycznego

Zjawiska akustyczne towarzyszące pracy turbin wiatrowych:

- Turbiny wiatrowe emitują dźwięki w szerokim zakresie częstotliwości. Najwyższe poziomy dotyczą niskich częstości dźwięku. Typowe widmo niekorygowanych dźwięków emitowanych przez turbinę wiatrową przedstawiono na rysunku – rys.4.

- Poziom mocy akustycznej turbin wiatrowych jest zróżnicowany, a ponadto jest zmienny podczas ich pracy w zależności od prędkości wiatru, wzrasta wraz ze wzrostem prędkości wiatru i po osiągnięciu pewnej prędkości granicznej praktycznie jest stały.
- Prędkość wiatru wzrasta wraz ze zmianą wysokości nad poziomem terenu, tzn. im wyżej tym prędkość wiatru jest większa.
- Poziom tła akustycznego środowiska zmienia się wraz ze zmianą prędkości wiatru – wzrasta z jego prędkością.
- Wyniki przeprowadzonych badań wykazują, że wraz ze wzrostem prędkości wiatru udział tła akustycznego w mierzonym sumarycznym poziomie hałasu ma tendencję wzrostową. Przy większych prędkościach wiatru, bliskich uzyskania maksymalnej wydajności i maksymalnego poziomu mocy akustycznej turbin, poziom tła w punkcie pomiarowym staje się porównywalny z poziomem hałasu od pracy turbin. Stwierdza się wówczas, że hałas od pracy turbin jest nierozróżnialny z tłem akustycznym. Jedną z istotnych przyczyn takiej sytuacji jest znaczne oddalenie od źródła, kontrolnych punktów pomiarowych (ponad 400 m), lokalizowanych przy najbliższej zabudowie mieszkalnej. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na wzrost poziomu tła w otoczeniu punktów pomiarowych jest często występująca większa „szorstkość" terenu wokół zabudowy. Powodem tego mogą być występujące w otoczeniu punktu pomiarowego drzewa, krzewy, budynki i inne obiekty. Zjawisko to zostało potwierdzone w kilkunastu badaniach akustycznych, przeprowadzonych dla dużych farm wiatrowych w Polsce.



Rys. 4. Widmo hałasu przy wieży turbiny wiatrowej [12]

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było potwierdzenie możliwości identyfikacji specyficznych zjawisk akustycznych zachodzących podczas pracy turbin wiatrowych. Jako jeden z pierwszych naukowców w Polsce przeprowadziłem badania wstępne

i zidentyfikowałem zjawiska akustyczne towarzyszące pracy turbin wiatrowych z poziomą osią obrotu o dużych mocach [10-12].

Hałas emitowany do środowiska jest podstawowym negatywnym czynnikiem towarzyszącym pracy turbin wiatrowych. Zapewnienie braku uciążliwości akustycznej odbywa się poprzez zachowanie poziomów dopuszczalnych hałasu w środowisku. Poziomy dopuszczalne ustalane są w każdym kraju na świecie indywidualnie. W Polsce poziomy dopuszczalne hałasu słyszalnego w środowisku reguluje rozporządzenie Ministra Środowiska w postaci wskaźnika - równoważny poziom dźwięku A - L_{Aeq} – odniesionego do rodzaju terenu chronionego akustycznie oraz pory dnia i nocy. W rozporządzeniu tym nie ma wymienionych turbin wiatrowych jako osobne źródło hałasu. Zatem poziom dopuszczalny przyjmuje się jak dla każdego źródła przemysłowego zawartego w kategorii „pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu". Przykładowe poziomy dopuszczalne dla zabudowy zagrodowej, najczęściej występującej wokół farm wiatrowych, w wybranych krajach zestawiono w tabeli 1.

Kraj	Poziom dopuszczalny dla zabudowy zagrodowej L_{Aeq}	
	Dzień	Noc
Polska	55	45
Finlandia	45	40
Belgia (Flandria)	48	43
Belgia (Walonia)	45	45
Kanada (Alberta)	50	40
Niemcy	60	45
USA (Georgia)	55	55
USA (Minnesota)	50	50
USA (Wisconsin)	50	45
USA (Wyoming)	50	50

Tabela 1. Przykładowe poziomy dopuszczalne

Przedstawione poziomy dopuszczalne muszą być zachowane zarówno podczas prowadzonych wstępnych analiz (symulacji) akustycznych na etapie projektowania farmy wiatrowej, jak i podczas prowadzonych porealizacyjnych pomiarów kontrolnych. Wydawałoby się oczywistym, że lokalizacja punktu kontrolnego powinna znajdować się na terenie chronionym akustycznie położonym przy budynku mieszkalnym. Jednak taka lokalizacja, ze względu na wytyczne krajowe jak i UE wymaga pomniejszenia zmierzonej wartości o 3 dB, co nie jest korzystne dla mieszkańców. Jednocześnie nie zabezpiecza terenu pod ewentualną przyszłą rozbudowę budynku mieszkalnego w kierunku istniejących turbin wiatrowych. Ustaliłem, że najkorzystniejszym rozwiązaniem będzie lokalizowanie punktu kontrolnego na granicy terenu chronionego akustycznie (działki budowlanej) od strony turbin wiatrowych. Takie zalecenie zapewni zarówno możliwość rozbudowy budynków w kierunku turbin oraz zapewni komfort

akustyczny osób przebywających w pobliżu budynku mieszkalnego [2, 6, 8]. Zaproponowana przeze mnie lokalizacja punktu pomiarowego powinna być zapisana w metodykach pomiarowych we wszystkich krajach na świecie.

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie jednoznacznej lokalizacji punktów kontrolnych emisji hałasu turbin wiatrowych w środowisku. Opracowałem zmiany dotyczące lokalizacji punktów kontrolnych na terenie chronionym akustycznie i opublikowałem wyniki w recenzowanych czasopismach.

Pierwszym etapem projektowania akustycznego farmy wiatrowej jest symulacja komputerowa zasięgu oddziaływania hałasu. W tym momencie ustalana jest ilość i typ turbin wiatrowych, wysokość wieży oraz rozmieszczenie obiektów w terenie. Identyfikowana jest najbliższa zabudowa chroniona akustycznie. Poprawność przeprowadzenia symulacji akustycznej zapewni w przyszłości brak negatywnego oddziaływania na środowisko oraz zminimalizuje ewentualne uciążliwości. Do dziś nie ma uniwersalnego programu obliczeniowego dedykowanego do analiz akustycznych turbin wiatrowych. Zapisanie uniwersalnego algorytmu jest w praktyce niemożliwe [I]. Na wynik obliczeń wpływają specyficzne warunki meteorologiczne, geograficzne i przyrodnicze analizowanego terenu. Należy zatem w drodze badań, poprzez porównanie wyników obliczeń z rzeczywistymi pomiarami terenowymi ustalić algorytm obliczeniowy wskazujący najbliższe możliwe przybliżenie. Miarodajna analiza porównawcza musi opierać się na dużej liczbie badanych obiektów i być szczegółowo przypisana do warunków meteorologicznych, geograficznych i przyrodniczych występujących na analizowanym terenie. Analizę taką przeprowadziłem dla terenów centralnej i północnej Polski wskazując, że model obliczeniowy zawarty w normie ISO 9613-2 z wystarczającą dokładnością pozwala na prognozowanie klimatu akustycznego w zakresie dźwięków słyszalnych pochodzących od turbin wiatrowych. Uzyskane przeze mnie rozbieżności wyników obliczeń i pomiarów nie przekroczyły 1,3dB [3]. Przykładowe wyniki analiz przedstawiam w Tabeli 2.

Numer punktu pomiarowego (odległość)	Wariant obliczeniowy	Wskaźnik gruntu G	Wartość obliczona [dB]	Wartość zmierzona [dB]	Różnice
D1 (560m)	V1	0.9	41.7	42.2 ± 1.4	- 0.5
	V2	0.7	42.4		+ 0.2
	V3	Metoda alternatywna	43.2		+ 1.0
D2 (800m)	V1	0.9	36.5	37.0 ± 1.6	- 0.5
	V2	0.7	37.2		+ 0.2
	V3	Metoda alternatywna	36.7		- 0.3

Tabela 2. Wyniki analiz porównawczych

Mając na uwadze wpływ warunków geograficznych i przyrodniczych na propagację fali dźwiękowej, wnioski z moich badań mogą być wprost wykorzystane w środkowej i północnej Europie oraz w Kanadzie i północnych stanach USA.

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie bezpiecznego algorytmu do symulacji hałasu słyszalnego turbin wiatrowych w środowisku. Na podstawie badań terenowych przeprowadzonych w centralnej i północnej Polsce udowodniłem, że model obliczeniowy zawarty w normie ISO 9613-2 może być stosowany do symulacji hałasu słyszalnego turbin wiatrowych w środowisku. Algorytm może mieć zastosowanie do obliczeń hałasu słyszalnego dla farm wiatrowych zlokalizowanych w środkowej i północnej Europie oraz w Kanadzie i północnych stanach USA.

Jednym z trudniejszych elementów prowadzenia symulacji za pomocą wybranego algorytmu ISO 9613-2 jest określenie wskaźnika gruntu. Wskaźnik gruntu G występuje w metodzie ogólnej normy i odpowiada za odbicia fali dźwiękowej od powierzchni terenu. Często w symulacjach komputerowych przyjmowana jest jako wartość skrajna z przedziału $0 \leq G \leq 1$, gdzie $G = 0$ odpowiada przyjęciu twardej powierzchni gruntu zbliżonej do powierzchni betonowej, asfaltowej lub pełnego oblodzenia. Natomiast wartość $G = 1$ odpowiada powierzchni miękkiej porośniętej w całości roślinnością. Żaden z tych skrajnych przypadków w rzeczywistości nie występuje, a przyjmowanie dla bezpieczeństwa wskaźnika gruntu $G = 0$ prowadzi do znacznego przeszacowania wyników powyżej 3 dB. Zaproponowałem własną metodykę określania wskaźnika gruntu [8]. Polega ona na wyliczeniu wartości, która stanowi ułamek odpowiadający udziałowi procentowemu gruntu porowatego w całej powierzchni terenu w zakresie oddziaływania farmy wiatrowej. Uzasadnienie, że w porze zimowej, przy zaleganiu śniegu, po odwilżach i ponownym zamarznięciu zaistnieje sytuacja, w której powierzchnią odbijającą będzie lód jest niewłaściwe. Przyjmowanie wskaźnika $G = 0$ byłoby słuszne, pod warunkiem, że lód powstałby na całym terenie lokalizacji i oddziaływania akustycznego farmy wiatrowej. W rzeczywistości sytuacja taka nigdy nie zachodzi. Zarówno proces topnienia zalegającej warstwy śniegu, jak i zamarzania w porze zimowej jest procesem wolnozmiennym i rozłożonym w czasie (łagodne spadki lub wzrosty temperatury). Powstająca woda w większości jest absorbowana przez glebę, a częściowo może zbierać się i zalegać czasowo w istniejących zagłębieniach terenu i rowach, w których nie zalega na stałe. Zatem w wyniku ponownego zamrożenia tafla lodu wystąpi jedynie na ograniczonej powierzchni stanowiącej jakiś procent całości terenu. Wielkość tej powierzchni zależy od ukształtowania terenu. Powierzchnie pokryte lodem, wystąpić mogą również w przypadku istnienia naturalnych zbiorników wodnych takich jak oczka wodne, jeziora, stawy, rzeki i inne cieki wodne.

Liczba naturalnych zbiorników wodnych na terenach farm wiatrowych jest niewielka ze względu na występujące ograniczenia przyrodnicze i wpływ turbin wiatrowych na awifaunę. Należy pamiętać, że powierzchnie, gdzie występuje zaleganie śniegu, w tym śniegu skompensowanego (czytaj zbitego, twardego, np. powierzchniowo zmrożonego) posiadają wysoki poziom absorbcji. Korzystając z zaproponowanej przeze mnie metody określania wskaźnika gruntu G w polskim klimacie i ukształtowaniu terenu uzyskuje się wartości w przedziale $0{,}7 \leq G \leq 0{,}9$. Moja metoda pozwala na określenie wskaźnika gruntu G na podstawie lokalnego ukształtowania terenu w obszarze oddziaływania turbiny wiatrowej.

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie sposobu wyliczania wskaźnika gruntu G w metodzie ogólnej algorytmu obliczeniowego ISO 9613-2 [8]. Opracowałem autorską metodę dotyczącą sposobu określenia wskaźnika gruntu G na podstawie lokalnego ukształtowania terenu w obszarze oddziaływania turbiny wiatrowej. Można ją stosować wprost w środkowej i północnej Europie oraz np. w Kanadzie i północnych stanach USA.

Pomiary emisji hałasu w środowisku wykonuje się zgodnie z zalecaną metodyką referencyjną (Dz. U. poz. 1542. 2014), a ustalony wynik pomiaru w postaci równoważnego poziomu dźwięku, porównywany jest z poziomami dopuszczalnymi określonymi dla pory dziennej i nocnej. Poziomy równoważne dźwięku określane są w odniesieniu do 8 kolejnych najmniej korzystnych godzin pory dziennej i 1 najmniej korzystnej godziny pory nocnej. Do najistotniejszych zapisów obowiązującej w Polsce metodyce referencyjnej, ze względu na pomiary hałasu turbin wiatrowych, należy ograniczenie prędkości wiatru na wysokości mikrofonu, do wartości średniej nie większej od 5 m/s. Celem kontrolnych pomiarów hałasu jest ocena pomiarowa pracującej farmy wiatrowej pod względem zagrożenia dla środowiska i ludzi. Do najbardziej istotnych aspektów dotyczących pomiarów i oceny hałasu turbin wiatrowych, w świetle zalecanej metodyce referencyjnej wykonywania pomiarów hałasu środowiskowego, należy zaliczyć:

1. Wybór metody pomiarów, tj. pomiar ciągły lub metodą próbkowania.
2. Czas pomiaru próbki w przypadku metody próbkowania.
3. Lokalizację punktów pomiarowych.
4. Sposób pomiaru tła akustycznego.
5. Warunki atmosferyczne podczas pomiarów, a w szczególności prędkość i kierunek wiatru.

Proponuję następujące zmiany i uzupełnienia metodyki referencyjnej wykonywania pomiarów hałasu w odniesieniu do turbin wiatrowych:

- Wprowadzić zalecenie prowadzenia pomiarów wyłącznie metodą próbkowania ze względu na zmienność prędkości wiatru i innych parametrów meteorologicznych w ciągu doby.
- Czas pomiaru próbki umożliwiający eliminację wpływu zakłóceń ustalić na 60 s, a przy częstych zakłóceniach skrócić do 10 s. Warunek ten dotyczy zarówno pomiaru hałasu turbin, jak i tła akustycznego po wyłączeniu i zatrzymaniu turbin.
- Pomiary tła akustycznego należy wykonywać wyłącznie po zatrzymaniu turbin w tych samych punktach kontrolnych, w których mierzono hałas podczas ich pracy.
- Lokalizację kontrolnych punktów pomiarowych należy ustalić na granicach działek najbliższych terenów chronionych akustycznie na wysokości 1,5 m nad poziomem terenu, a nie przy elewacji budynku chronionego.
- Pomiary hałasu należy wykonywać przy prędkości wiatru zawartej w granicach od 2,5 m/s do 5,0 m/s, mierzonej w pionie pomiarowym na wysokości 3,0 m.
- Wprowadzić zalecenie prowadzenia pomiarów w czterech porach roku, co pozwoli na uwzględnienie zmiennych w ciągu roku warunków atmosferycznych takich, jak: wilgotność, temperatura, ciśnienie i kierunek wiatru oraz zmiennego poszycia terenu wpływającego na propagację fali dźwiękowej.
- Przed pomiarami zespół pomiarowy powinien zapoznać się z częścią akustyczną raportu oddziaływania na środowisko oraz z dokumentacją techniczną turbin wiatrowych i ustalić, przy jakich prędkościach wiatru dany typ turbiny osiąga maksymalny poziom mocy akustycznej.
- Wprowadzić obowiązek udostępnienia zespołowi pomiarowemu przez dyspozytora farmy wiatrowej informacji, o średnich prędkościach wiatru na poszczególnych turbinach, podczas wykonywania zaleconego w decyzji środowiskowej monitoringu hałasu.
- Na podstawie zapisów komputerowych dyspozytora farmy wiatrowej należy ustalić, przy jakich prędkościach wiatru na wysokości osi poszczególnych turbin wykonano pomiary imisji hałasu.
- W przypadkach, gdy zmierzony poziom imisji hałasu jest nierozróżnialny z tłem akustycznym, a jednocześnie poziom emisji nie przekracza wartości poziomów dopuszczalnych pory dziennej i nocnej w danym punkcie, wprowadzić zapis interpretacyjny, że w takim przypadku poziom emisji hałasu w danym punkcie nie stanowi zagrożenia dla środowiska i ludzi.

Opracowane przeze mnie wytyczne dotyczące sposobu wykonywania pomiarów hałasu w środowisku mogą być implementowane we wszystkich krajach, gdzie wskaźnik oceny hałasu oparty jest na dobowej wartości równoważnego poziomu dźwięku osobno dla pory nocnej i dziennej.

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie metodyki pomiarowej stosowanej do oceny hałasu słyszalnego w środowisku[2, 6, A]. Proponowana metodyka ma wymiar uniwersalny i może być stosowana we wszystkich krajach, gdzie wskaźnik oceny hałasu oparty jest na wartości równoważnego poziomu dźwięku wyznaczonego w ciągu doby osobno dla pory nocnej i dziennej.

Hałas infradźwiękowy towarzyszy pracy turbin wiatrowych oraz występuje powszechnie w środowisku naturalnym. W Polsce nie ma obowiązujących norm i przepisów prawnych określających poziomy dopuszczalne hałasu w środowisku naturalnym w zakresie emisji infradźwięków. Brak jest również zalecanej metodyki pomiarów hałasu infradźwiękowego w środowisku. Zatem podczas pomiarów starałem się zachować wytyczne metod referencyjnych pomiarów hałasu środowiskowego w zakresie słyszalnym z niezbędnymi modyfikacjami.

Proponuję następujący sposób wykonywania pomiarów hałasu infradźwiękowego w odniesieniu do turbin wiatrowych:

- Pomiary prowadzić z wykorzystaniem krzywej korekcji G przy stałej czasowej fast.
- Podczas pomiarów wykonywać tercjowe analizy widmowe oraz określać wskaźnik równoważnego poziomu dźwięku L_{Geq}.
- Stosować mikrofony pomiarowe o liniowej charakterystyce częstotliwościowej od 1 Hz.
- Wprowadzić zalecenie prowadzenia pomiarów wyłącznie metodą próbkowania ze względu na zmienność prędkości wiatru i innych parametrów meteorologicznych w ciągu doby.
- Czas pomiaru próbki ustalić na 300 s, a przy częstych zakłóceniach skrócić do 60 s. Warunek ten dotyczy zarówno pomiaru hałasu turbin, jak i tła akustycznego po wyłączeniu i zatrzymaniu turbin.
- Pomiary tła akustycznego należy wykonywać bezwzględnie po wyłączeniu i zatrzymaniu turbin w tych samych punktach kontrolnych, w których mierzono hałas podczas ich pracy.
- Lokalizację kontrolnych punktów pomiarowych należy ustalić na granicach działek najbliższych terenów chronionych akustycznie na wysokości 1,5 m nad poziomem terenu.

- Jeśli to możliwe, należy wybierać lokalizację punktów pomiarowych z dala od drzew.
- Pomiary hałasu należy wykonywać przy prędkości wiatru zawartej w granicach od 4,0 m/s do 6,0 m/s, mierzonej w pionie pomiarowym na wysokości 4,0 m.
- Wprowadzić obowiązek udostępnienia zespołowi pomiarowemu przez dyspozytora farmy wiatrowej informacji, o średnich prędkościach wiatru na poszczególnych turbinach, podczas wykonywania zaleconego w decyzji środowiskowej monitoringu hałasu.
- Na podstawie zapisów komputerowych dyspozytora farmy wiatrowej należy ustalić, przy jakich prędkościach wiatru na wysokości osi poszczególnych turbin wykonano pomiary imisji hałasu.

Przykładowe poziomy równoważne hałasu infradźwiękowego pochodzącego od turbin wiatrowych w odległości 500 m od wież zestawiłem w Tabeli 3.

Nr Punktu	Pomiar podczas pracy turbin wiatrowych L_{Geq} [dB]	Niepewność rozszerzona dla poziomu ufności 95% (U_{R95})	Pomiar tła po wyłączeniu turbin wiatrowych L_{Gt} [dB]	Niepewność rozszerzona dla poziomu ufności 95% (U_{R95})
P1	77,7	±1,8	76,7	±1,8
P2	79,7		82,0	
P3	79,3		78,4	
P4	77,9		77,6	

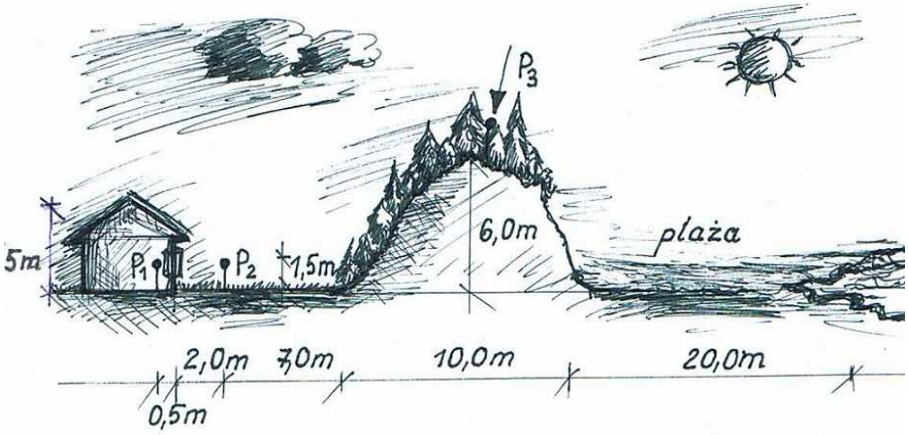
Tabela 3. Przykładowe wartości zmierzonych infradźwięków [9]

Opracowane przeze mnie wytyczne dotyczące sposobu wykonywania pomiarów hałasu infradźwiękowego w środowisku mogą być implementowane we wszystkich krajach.

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie metodyki pomiarowej stosowanej do oceny hałasu infradźwiękowego w środowisku [7, 9, 11]. Opracowane wytyczne mają charakter uniwersalny, mogą być implementowane we wszystkich krajach na świecie. Jako jeden z pierwszych naukowców na świecie opublikowałem wyniki badań hałasu infradźwiękowego występującego podczas pracy farm wiatrowych. Wyniki przeprowadzonych badań opublikowałem w recenzowanych czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym.

Określenie uciążliwości hałasu infradźwiękowego polega na porównaniu zmierzonych poziomów do poziomów dopuszczalnych. Jednak ze względu na brak określonych poziomów dopuszczalnych hałasu niskoczęstotliwościowego i infradźwiękowego w środowisku przeprowadziłem szereg eksperymentów w celu ustalenia poziomu odniesienia. Takim poziomem odniesienia niewątpliwie jest poziom infradźwięków naturalnie występujących w środowisku oraz w budynkach mieszkalnych. Badania przeprowadzone zostały nad morzem (rys. 5) oraz

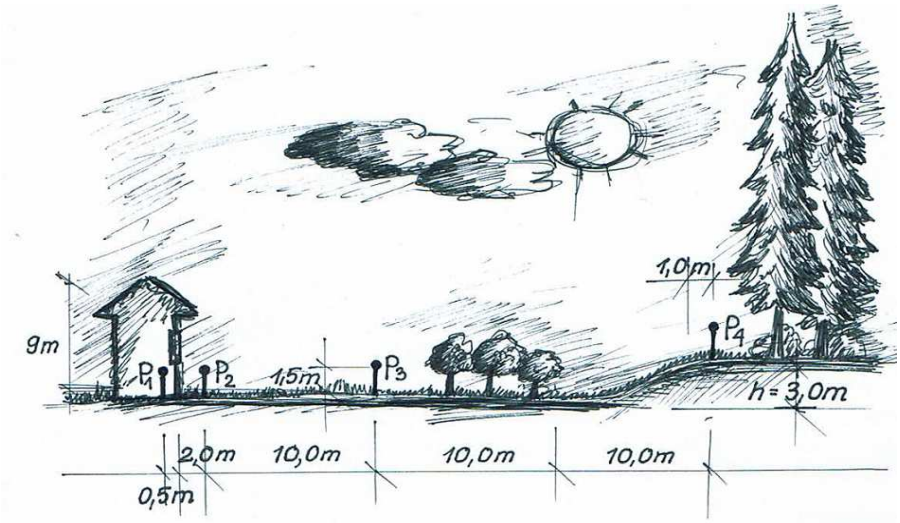
w pobliżu lasu liściastego (rys. 6). Szum morza oraz szum drzew wywołane porywami wiatru są źródłem naturalnych infradźwięków. Badania prowadziłem przy prędkościach wiatru podczas którego turbiny wiatrowe pracowałyby z maksymalną mocą akustyczną. Były to zakresy prędkości wiatru na wysokości 10 m nad poziomem terenu w zakresie 9 – 11 m/s.
Uzyskane wartości zestawiłem w tabeli 4 i tabeli 5.



Rys. 5 Lokalizacja punktów pomiarowych

Nr punktu pomiarowego	Poziom średni pomiaru L_{Geq} [dB]	Obliczona niepewność rozszerzona dla poziomu ufności 95% (U_{R95})
1	64,3	±1,5
2	76,1	±1,7
3	89,1	±1,8

Tabela 4. Wyniki pomiarów nad morzem [7]



Rys. 6 Lokalizacja punktów pomiarowych

Nr punktu pomiarowego	Poziom średni pomiaru L_{Geq} [dB]	Obliczona niepewność rozszerzona dla poziomu ufności 95% (U_{R95})
1	59,1	±1,5
2	72,2	±1,6
3	75,4	±1,6
4	87,8	±1,7

Tabela 5. Wyniki pomiarów w pobliżu lasu [7]

Jako jeden z pierwszych badaczy na świecie ustaliłem, że występujące poziomy infradźwięków w środowisku są zbliżone do tych rejestrowanych w pobliżu farm wiatrowych oraz poziomy te są poniżej progu percepcji człowieka [7].

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie że hałas infradźwiękowy pochodzący od turbin wiatrowych nie przewyższa naturalnych infradźwięków w środowisku. Ustaliłem, że hałas infradźwiękowy w środowisku pochodzący od źródeł naturalnych ma poziomy zbliżone, a niekiedy wyższe, niż hałas infradźwiękowy towarzyszący pracy turbin wiatrowych. Ustaliłem, że poziomy hałasu infradźwiękowego pochodzącego od turbin wiatrowych osiągają wartości poniżej progu percepcji człowieka. Wyniki i wnioski z badań opublikowałem w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

W codziennym życiu, w miejscu zamieszkania, występują powszechnie dźwięki o niskich częstotliwościach. Pochodzą one od urządzeń technicznych budynku np. piec centralnego ogrzewania, wentylatory, klimatyzacja oraz wynikają z użytkowania przedmiotów takich jak: lodówka, pralka, zmywarka, pochłaniacze kuchenne, suszarka do włosów, prysznic, telewizor. Ze względu na brak określonych poziomów dopuszczalnych hałasu niskoczęstotliwościowego i infradźwiękowego w środowisku komunalnym, pochodzącego od turbin wiatrowych, przeprowadziłem szereg eksperymentów w celu ustalenia poziomu odniesienia. Takim poziomem odniesienia niewątpliwie jest poziom infradźwięków i dźwięków o niskich częstotliwościach występujących w miejscu zamieszkania [4, B]. Badania przeprowadzone zostały w domu jednorodzinnym. W pobliżu domu przebiegają ulice miejskie o małym natężeniu ruchu. Centralną część domu stanowi otwarty pokój dzienny, wokół którego zlokalizowane są pozostałe pomieszczenia. Ściany domu wykonane zostały w postaci przegrody warstwowej z pustaków ceramicznych, styropianu i okładziny z cegły pełnej, mur był obustronnie otynkowany. Źródłem dźwięku będącym podstawą analiz w niniejszym artykule były codzienne dźwięki związane z domową aktywnością człowieka. Zatem przed przystąpieniem do pomiarów ustalono harmonogram codziennych zajęć domowników. Ze względu na fakt naj-

dłuższego czasu przebywania w domu gospodyni domowej przykładowy harmonogram przedstawiłem dla tej osoby - tabela 6.

Nr	Nr analizy pomiarowej	Nazwa czynności	Włączone urządzenia
1	A59	Higiena codzienna, mycie pod prysznicem	Prysznic, pralka, spłukiwanie toalety, lodówka w oddaleniu
2	A58	Pranie	Pralka, lodówka w oddaleniu
3	A50	Przygotowanie posiłków	Czajnik elektryczny, lodówka, zmywarka
4	A51	Gotowanie obiadu	Wentylacja mechaniczna nad palnikami, lodówka
5	A53	Odkurzanie	Odkurzacz, lodówka w oddaleniu
6	A60	Oglądanie TV, odpoczynek	Telewizor, lodówka w oddaleniu
7	A5	Sen	W oddaleniu lodówka i piec grzewczy
8	A43	Tło pomiarowe	W oddaleniu lodówka
9	A21/A22	Przejazd do sklepu	Autobus miejski
9*	A26/A36	Przejazd do sklepu	Samochód osobowy

Tabela 6. Harmonogram zajęć gospodyni domowej

Określenie osoby	Dobowa ekspozycja na hałas infradźwiękowy $L_{Geq,24}$	Poza zawodowa ekspozycja na hałas infradźwiękowy $L_{Geq,16}$
	[dB]	
Gospodyni domowa	92,7	-
	80,7 *	-
Osoba pracująca poza miejscem zamieszkania	-	94,5
	-	82,3 *

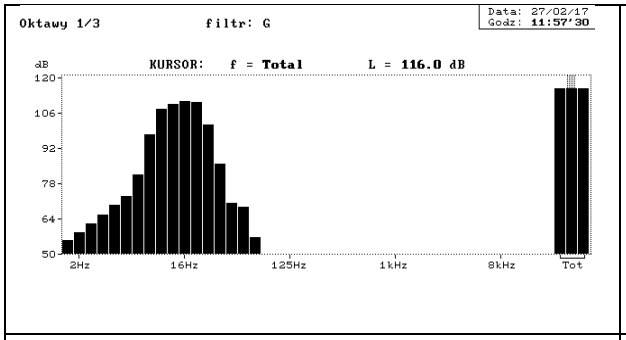
Tabela 7. Poziomy ekspozycji na hałas infradźwiękowy podczas wietrznej pogody

Wyniki prezentowane w tabeli 7, przedstawiono przykładowo dla dwóch osób alternatywnie. Wartości oznaczone * obliczone są z uwzględnieniem przejazdów własnym samochodem osobowym, natomiast bez dodatkowego oznaczenia dla przejazdów autobusem komunikacji miejskiej. Jako jeden z pierwszych badaczy na świecie ustaliłem, że zmierzone wartości hałasu infradźwiękowego w przeciętnym domu o konstrukcji murowanej są zbliżone do tych reje-

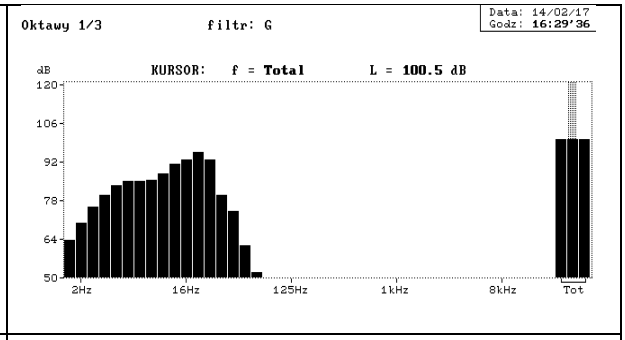
strowanych w podobnym domu zlokalizowanym w pobliżu farm wiatrowych oraz, że zmierzone poziomy są poniżej progu percepcji człowieka [7].

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie, że w miejscu zamieszkania hałas infradźwiękowy pochodzący od turbin wiatrowych nie przewyższa poziomu infradźwięków występujących w codziennym życiu [4, 7]. Jako jeden z pierwszych badaczy na świecie ustaliłem, że zmierzone wartości hałasu infradźwiękowego w przeciętnym domu o konstrukcji murowanej są zbliżone do tych rejestrowanych w podobnym domu zlokalizowanym w pobliżu farm wiatrowych oraz, że zmierzone poziomy są poniżej progu percepcji człowieka. Wyniki i wnioski z badań opublikowałem w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym.

Podczas codziennego korzystania ze środków transportu rejestrujemy znaczną ekspozycję na hałas niskoczęstotliwościowy, szczególnie infradźwiękowy [4, 5, C, D]. Przykładowe analizy tercjowe widma hałasu infradźwiękowego zarejestrowane w autobusie i samochodzie osobowym podczas przejazdu z prędkościami do 80 km/h, przedstawiają rysunki 7a i 7b.

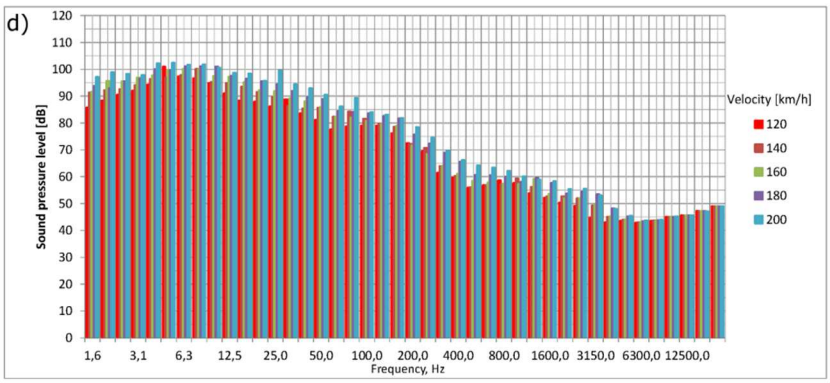


Rys. 7a Analiza hałasu infradźwiękowego w kabinie autobusu



Rys. 7b Analiza hałasu infradźwiękowego w kabinie samochodu osobowego

Na rysunku 8 przedstawiam widmo hałasu niekorygowanego zarejestrowane podczas przejazdu samochodem osobowym z prędkościami autostradowymi [5].

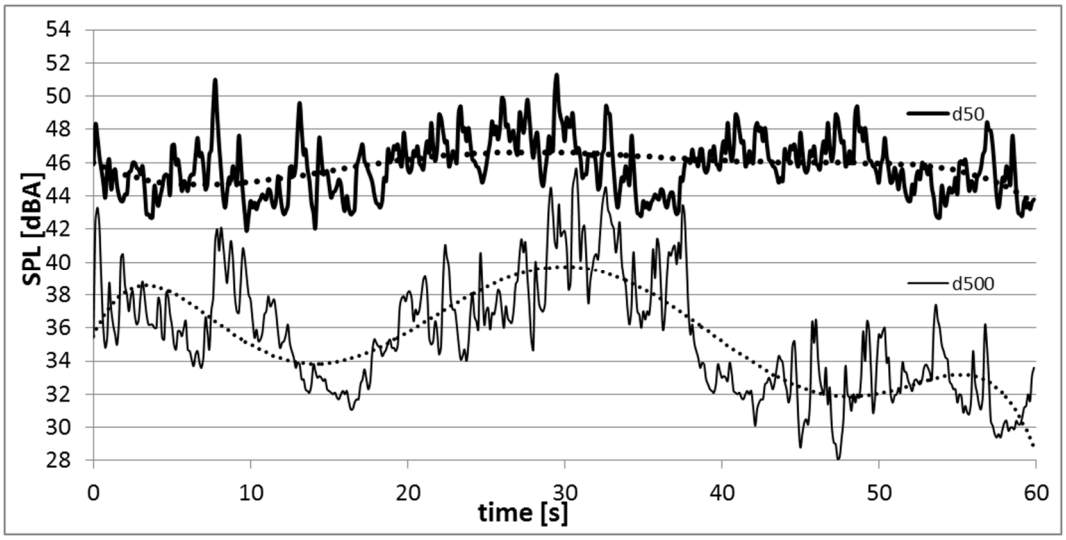


Rys. 8 Analizy tercjowe hałasu w kabinie samochodu przy zamkniętych oknach dla różnych prędkości jazdy

Wyraźnie widać, że poziomy hałasu infradźwiękowego wyrażone wskaźnikiem L_{Geq} (poziom równoważny dźwięku [dB(G)]) rejestrowane przy turbinach wiatrowych (Tabela 3) są niższe od zmierzonych w środkach komunikacji (rysunek 7a i 7b - total).

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie że hałas infradźwiękowy pochodzący od turbin wiatrowych jest znacznie niższy od poziomu infradźwięków występujących w powszechnie używanych środkach transportu [5].

Cykliczne fluktuacje poziomu słyszalnego hałasu turbin wiatrowych rejestrowane przy wieży nośnej turbiny, szczególnie związane z częstotliwością przechodzenia łopaty wirnika w pobliżu wieży nośnej turbiny nazywane są przez wielu badaczy modulacją amplitudy hałasu. Uważam, że właściwym określeniem jest „fluktuacja poziomu ciśnienia akustycznego" ze względu na liczne zaburzenia rejestrowanego sygnału w odległości 500 m, gdzie najczęściej zlokalizowana jest pierwsza linia zabudowy chronionej akustycznie – rys. 9.



Rys. 9. Przykładowe fluktuacje poziomu ciśnienia akustycznego wokół farmy wiatrowej w odległości 50 i 500 m od skrajnej turbiny.

Wyraźna modulacja amplitudy poziomu ciśnienia akustycznego występuje w miejscach lokalizacji wież turbin wiatrowych, które nie mają przypisanych poziomów dopuszczalnych hałasu. W ochronie środowiska przed hałasem istotny jest poziom ciśnienia akustycznego w miejscu stałego przebywania lub zamieszkania ludzi, ograniczony poziomem dopuszczalnym.

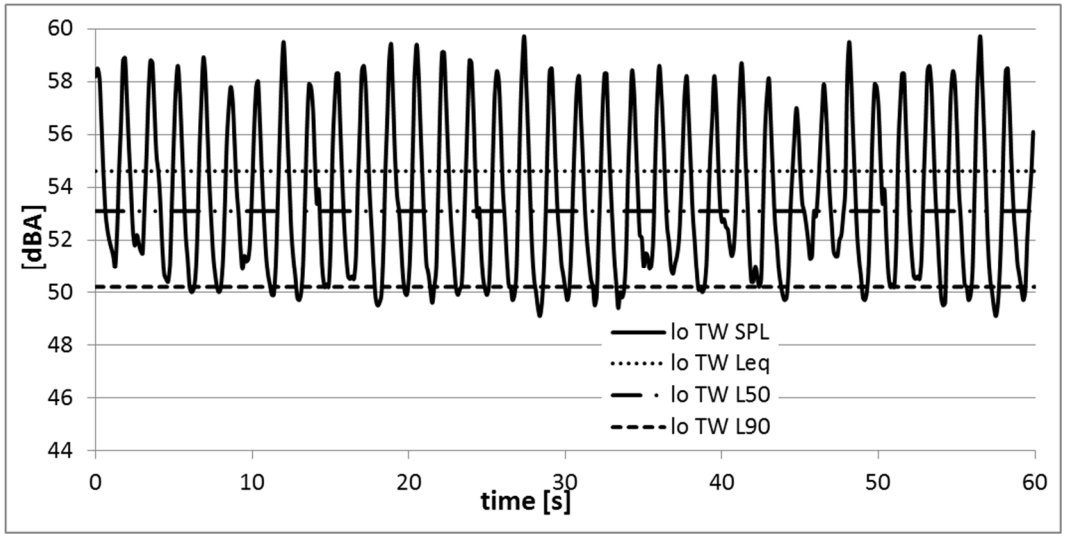
Fluktuacja poziomu ciśnienia akustycznego w pobliżu turbin wiatrowych związana jest głównie z następującymi czynnikami:

- Zmiany prędkości wiatru w czasie określane jako porywy lub podmuchy wiatru, rejestrowane szczególnie w północnej Polsce, w pasie o szerokości 100 km od morza,

- Ruch obrotowy śmigieł powodujący w niektórych typach turbin charakterystyczny świst końców łopat,
- Cykliczne przemieszczanie się śmigła w pobliżu wieży nośnej turbiny.

Badaniom poddałem pojedyncze turbiny oraz farmy wiatrowe w pobliżu których wahania poziomu ciśnienia akustycznego są wyraźnie słyszalne [1].

Zaobserwowałem, że nie wszystkie turbiny wiatrowe podczas emisji dźwięku wykazują znaczne fluktuacje poziomu ciśnienia akustycznego. Wykazałem, że równoważny poziom dźwięku L_{AeqT} będący w większości krajów na świecie, wskaźnikiem oceny klimatu akustycznego kształtuje się powyżej średniej statystycznej L_{A50} wyznaczonej z pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego SPL i uwzględnia zmienność poziomów ciśnienia akustycznego w czasie – rys 10.



Rys. 10. Fluktuacje SPL na tle wskaźników L_{eq}, L_{50} i L_{90} podczas pracy farmy wiatrowej rejestrowane przy wieży turbiny.

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie, że fluktuacje poziomu ciśnienia akustycznego wynikające ze specyficznej emisji dźwięku przez turbiny wiatrowe są uwzględnione w mierzonym wskaźniku oceny jakim jest równoważny poziom dźwięku [1].Wyniki oraz wnioski z badań opublikowałem w recenzowanym czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

Kwintesencją moich rozważań, dotyczących oddziaływania akustycznego turbin wiatrowych na środowisko, jest wykorzystanie ich w praktyce. Poza licznymi wykonanymi ocenami oddziaływania na środowisko farm wiatrowych (ponad 100 opracowań) uczestniczyłem w latach 2014 - 2015 w pracach zespołu do spraw przygotowania propozycji działań normujących ochronę środowiska przed hałasem w Ministerstwie Środowiska. Mój aktywny udział w zespole, polegał na wygłoszeniu dwóch referatów oraz złożeniu jednolitego tekstu propo-

nowanych zmian [III, IV]. Moje doświadczenia badawcze w zakresie odziaływania farm wiatrowych na klimat akustyczny prezentuję również na spotkaniach zespołów tematycznych np. w sejmie, gdzie zapraszany jestem jako ekspert [I, II].

Moim bardzo istotnym osiągnięciem naukowym jest wdrażanie własnych propozycji modyfikujących referencyjne metodyki badań do praktyki pomiarowej i obliczeniowej.

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo - badawcze

Od początku pracy na Uczelni ważna była dla mnie możliwość prowadzenia badań naukowych, przy wykorzystaniu najnowocześniejszej aparatury. Dlatego też dążyłem do wzbogacenia i/lub zmodernizowania istniejących bazy laboratoryjnej, która umożliwiłaby mi prowadzenie badań na najwyższym technicznie poziomie. Byłem pomysłodawcą oraz wnioskodawcą zakupu wielu urządzeń laboratoryjnych.

Najistotniejszym dla moich badań był zakup analizatora drgań i hałasu. Uzyskałem, wspólnie z pracownikami Katedry Mechaniki Budowli fundusze na urządzenie pomiarowe: czterokanałowy analizator dźwięku i drgań – SVAN 912 AE oraz mikrofon do pomiaru infradźwięków – SV 02/C4L. Wymieniona wyżej aparatura badawcza jest nadal w pełni funkcjonalna i wykorzystywana jest w pracach badawczych pracowników Politechniki Koszalińskiej. Następnym krokiem był zakup oprogramowania komputerowego do prowadzenia symulacji hałasu w środowisku. Zakupiłem trzy programy: SoundPlan do symulacji hałasu komunikacyjnego i przemysłowego, HPZ ITB do obliczeń hałasu przemysłowego oraz Hdrog-W do analizy hałasu drogowego. SoundPlan to program znany na całym świecie z bogatą bazą zaimplementowanych norm międzynarodowych, HPZ ITB i Hdrog-W to programy polskie, spełniające krajowe przepisy dotyczące metod oceny hałasu w środowisku.

Moim osiągnięciem organizacyjnym jest przygotowanie niezbędnej aparatury pomiarowej oraz oprogramowania do prowadzenia analiz klimatu akustycznego w środowisku.

Ważnym aspektem w ocenach klimatu akustycznego jest problem ekranowania. W swojej pracy zająłem się oceną skuteczności ekranowania istniejących barier akustycznych instalowanych przy drogach [E, K]. Ze względu na brak wytycznych do oceny opracowałem własną propozycję postepowania. Efektywność akustyczna ΔL_e ekranu, która charakteryzuje skuteczność działania ekranu, określona jest różnicą poziomów ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji (punkcie chronionym akustycznie) przed wprowadzeniem ekranu (L_1) oraz po jego wprowadzeniu (L_2): $\Delta L_e = L_1 - L_2\,[dB]$, (1)

Przyjąłem następującą metodykę oceny skuteczności ekranowania poszczególnych ekranów:

- dla wybranych budynków stanowiących obiekty chronione akustycznie przyjąłem reprezentatywne punkty obserwacji, w których wykonałem kontrolne pomiary poziomu ciśnienia akustycznego z jednoczesnym równoległym pomiarem natężenia i struktury ruchu na wyznaczonym ekranowanym odcinku ulicy, w ten sposób otrzymałem parametr L_2,
- wykonałem kalibrację modelu obliczeniowego otrzymując na drodze symulacji komputerowej identyczne wartości parametru L_2,
- następnie mając rzeczywiste natężenie i strukturę ruchu dla wykonanych pomiarów wykonałem obliczenia komputerowe poziomu ciśnienia akustycznego w przyjętych reprezentatywnych punktach obserwacji, zakładając brak ekranów akustycznych, w ten sposób otrzymałem parametr L_1,
- mając określone oba parametry, skuteczność ekranowania określiłem dla poszczególnych, wybranych kontrolnych punktów reprezentatywnych zgodnie z podanym wyżej wzorem.

Moim osiągnięciem naukowo-badawczym jest określenie metodyki oceny istniejących drogowych barier akustycznych.

Ekranowanie to nie jedyny sposób eliminacji nadmiernych poziomów hałasu drogowego w środowisku. Szczególnie w przypadku tymczasowości oddziaływania emitora warto się zastanowić na tańszym sposobem ograniczania imisji. Wykonałem analizy umożliwiające wybór rozwiązania pozwalającego ograniczyć poziomy imisji hałasu dla obiektu chronionego akustycznie, a następnie oceniłem zaproponowane rozwiązania pod względem ich skuteczności i kosztów realizacji. Rozważania prowadziłem dla małej tymczasowej pętli autobusowej. Analizowany problem dotyczył przypadku rzeczywistego i zrealizowany został na zlecenie UM w Tczewie. Na podstawie wielogodzinnych obserwacji zauważyłem, że znaczna ilość pojazdów wykonuje tzw. puste przebiegi. Polegały one na objeżdżaniu przyległą ulicą wysepki ze stanowiskami odjazdów. Powodem tego był aktualny brak wolnych stanowisk odjazdu. Wzrastało w ten sposób natężenie ruchu pojazdów ciężkich na odcinku ulicy przed budynkiem mieszkalnym, co znacząco przyczyniało się do wzrostu poziomu emisji hałasu. Zaproponowałem zmianę organizacji ruchu w postaci lokalizacji dodatkowych miejsc parkingowych w pobliżu stanowisk odjazdów autobusów co znacząco wpłynęło na zmniejszenie ilości przejazdów w pobliżu budynku mieszkalnego [E, J].

Moim osiągnięciem naukowo-badawczym jest wskazanie możliwości redukcji hałasu drogowego poprzez zmianę organizacji ruchu pojazdów.

W swojej pracy badawczej podjąłem ciekawy temat oddziaływania akustycznego stacji benzynowej [F]. Oczywistym jest, że działalność stacji paliw skierowana jest głównie do kierowców poruszających się pojazdami o napędzie spalinowym. Jednak wiele urzędów nakazuje właścicielom stacji benzynowej spełnienie ograniczeń akustycznych jak dla obiektu usługowego. Wykazałem, że analizy akustyczne stacji paliw muszą być prowadzone dwutorowo. Obiekt usługowy (sklep + myjnia pojazdów) powinien być rozpatrywany osobno jako źródło hałasu przemysłowego. Przejazd pojazdów po terenie stacji powinien być rozpatrywany również osobno jako źródło hałasu komunikacyjnego drogowego.

Moim osiągnięciem naukowo-badawczym jest wskazanie metodyki prowadzenia oceny akustycznej stacji benzynowej [F].

Uproszczenia w symulacjach hałasu przemysłowego mogą prowadzić do uzyskiwania błędnych wyników analiz akustycznych. Wykazałem, że modelowanie obiektów przestrzennych jako tzw. „źródło typu budynek" można pominąć, w stosunku do budynków, w których poziom ciśnienia akustycznego wewnątrz jest mniejszy od 60 dB. Należy w takim przypadku modelować obiekt jako bryłę nie emitującą hałasu. W uproszczeniu można stwierdzić, że gdy poziom hałasu wewnątrz budynku jest mniejszy od 60 dB, a izolacyjność wypadkowa ścian tego obiektu jest większa od 20 dB, to na zewnątrz budynek emituje dźwięki o poziomie poniżej 40 dB. Wartość 40 dB to najniższy w Polsce i wielu krajach na świecie poziom dopuszczalny dla pory nocnej.

Moim osiągnięciem naukowo-badawczym jest wskazanie które z uproszczeń w modelowaniu emitora nie wpływają na wartość immisji hałasu w środowisku [L].

Wykonując wielokrotnie własne pomiary hałasu komunikacyjnego drogowego zauważyłem, że wynik pomiaru uzyskiwany podczas badania 10 minutowego nie odbiegał od tego, który można było zaobserwować na mierniku podczas pomiarów już po 5 minutach. Wydaje się zatem być celowe, podjęcie próby modyfikacji obowiązujących przepisów w kierunku skrócenia czasu pobierania pojedynczych próbek hałasu w celu wyznaczenia poziomu równoważnego dźwięku. Z przeprowadzonych przeze mnie badań na wielu odcinkach drogowych wynika, że przy wysokim natężeniu ruchu tj. powyżej 600 poj./godz., skracając czasu pomiaru pojedynczej próby do 2 minut, można osiągnąć wynik zbliżony do 10 minutowego, który zawiera się w przedziale rozstępu R miedzy próbkami $0 \leq R \leq 2$. Jednocześnie podczas próbkowania, przy małym natężeniu ruchu (300 poj./godz.), potrzeba wydłużyć czas pomiaru pojedynczej próby do 3 minut, aby wynik zawierał się w założonym przedziale rozstępu R. W

związku z powyższym skrócenie czasu pomiaru pojedynczej próbki do 5 minut jest rozwiązaniem bezpiecznym. Jednocześnie warto obniżyć zakres dolny natężenia ruchu, dopuszczający stosowania metody próbkowania z obecnych od 300 poj./godz. do warunku minimum 200 poj./godz.

Moim osiągnięciem naukowo-badawczym jest wskazanie niedostatków w obowiązujących referencyjnych metodach pomiaru hałasu drogowego oraz propozycje zmian tych przepisów [G, H].

Przedstawione osiągnięcia naukowo-badawcze powiązane są ściśle z moimi osiągnięciami naukowymi. Zakres prac wskazuje na moje szerokie zainteresowanie tematem oceny klimatu akustycznego w środowisku. Tematem moich kolejnych prac będą rozszerzone badania wpływ pomiaru tła akustycznego na ustalenie wskaźnika oceny hałasu w środowisku [A].

Dodatkowe materiały przywołane w tekście:

[A] **Zagubień A.**, 2018, Pomiar tła akustycznego w środowisku – studium przypadków, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 20, pp.1498-1514.

[B] **Zagubień A.**, Wolniewicz K., 2017, Domowe źródła hałasu niskoczęstotliwościowego, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 19, pp.682-693.

[C] **Zagubień A.**, Wolniewicz K., 2017, Hałas infradźwiękowy w środkach komunikacji podmiejskiej, Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, No. 7-8, pp.136-138.

[D] **Zagubień A.**, Wolniewicz K., 2017, Hałas niskoczęstotliwościowy w samochodach osobowych, Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, No. 7-8, pp.139-142.

[E] Wolniewicz K., **Zagubień A.,** 2016, Zasadność ekranowania dróg w świetle obowiązujących poziomów dopuszczalnych hałasu, Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, No. 8, pp.54-57.

[F] Wolniewicz K., **Zagubień A.,** 2016, Oddziaływanie akustyczne stacji benzynowej, Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, No 8, pp.46-49.

[G] Wolniewicz K., **Zagubień A.,** 2016, Porealizacyjna ocena hałasu od drogi o małym natężeniu ruchu, Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe No 8, pp.50-53.

[H] Wolniewicz K., **Zagubień A.,** 2015, Optymalizacja czasu pomiaru hałasu komunikacyjnego drogowego z uwzględnieniem obowiązującej metodyki pomiarowej, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, Nr 6, pp.255-258.

[I] Wolniewicz K., **Zagubień A.**, 2015, Verifying Traffic Noise Analysis Calculation Models, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 24, No. 6, pp.2767-2772.

[J] **Zagubień A.**, 2011, Analiza akustyczna małej pętli autobusowej, Pomiary Automatyka Kontrola, Vol.57, (2), pp.165-167.

[K] **Zagubień A.**, 2008, Ocena skuteczności ekranowania istniejących barier akustycznych, Pomiary Automatyka Kontrola, Vol.54, (4), pp.217-219.

[L] Ingielewicz R., **Zagubień A.**, 2006, Uproszczenia w symulacjach komputerowych klimatu akustycznego, XXIV Krajowa Konferencja „Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania, Mielno, pp.71-77.

[M] **Zagubień A.**, 2004, Problemy analizy hałasu wokół wielkopowierzchniowych zakładów rolniczych, materiały konferencyjne, VII Koszalińska Konferencja Naukowo – Techniczna, Koszalin, pp.109-115.

[N] Ingielewicz R., **Zagubień A.,** 2000, Ekologiczna energia siłowni wiatrowych a hałas środowiskowy, IV Koszalińska Konferencja Naukowo – Techniczna, Kołobrzeg, 15-17 listopad.

Wystąpienia przywołane w tekście:

[I] **Zagubień A.** – referat „Hałas elektrowni wiatrowej – studium przypadku", Parlamentarny Zespół Górnictwa i Energii". Warszawa, Sejm RP, 27.09.**2017**r.

[II] **Zagubień A.** - referat „Praktyczne aspekty ocen oddziaływania elektrowni wiatrowych pod względem akustycznym", dla inwestorów i właścicieli farm wiatrowych na X konferencji i targach organizowanych przez Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej. Serock, 15.04.**2015r**.

[III] **Zagubień A.** – referat „Wyniki badań i analiz oddziaływania farm wiatrowych na klimat akustyczny otoczenia, na przykładach zrealizowanych prac". Posiedzenie zespołu ds. Przygotowania propozycji działań normujących ochronę środowiska przed hałasem. Ministerstwo Środowiska – Warszawa 21.01.**2015r**.

[IV] **Zagubień A.**, Ingielewicz R.– referat „Praktyczne aspekty ocen oddziaływania elektrowni wiatrowych pod względem akustycznym. Doświadczenia polskie". Spotkanie Grupy Roboczej ds. Hałasu na temat: „Oddziaływanie akustyczne farm i turbin wiatrowych – prace nad ujednoliconym podejściem oceny turbin wiatrowych, z uwzględnieniem doświadczeń europejskich", GDOŚ, Ministerstwo Środowiska – Warszawa 28.08.**2014r**.

Adam Zagubień