



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

AUTOREFERAT

**przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,
w szczególności określonych w 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
zgodnie z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r.
(Dz. U. z 2016r., poz. 882 i 1311, rozdział 2, §12.2, pkt 2)**

dr inż. Piotr Mioduszewski

pmiodusz@pg.edu.pl
Tel: +48 603 05 22 34

SPIS TREŚCI

1	Imię i nazwisko.....	3
2	Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4	Wskazanie osiągnięcia naukowego	3
5	Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	6
5.1	Cel naukowy prac.....	9
5.2	Osiągnięte wyniki prac.....	9
5.2.1	Osiągnięcia przed doktoratem	9
5.2.2	Osiągnięcia po doktoracie	11
6	Pozostałe osiągnięcia naukowo - badawcze	19
6.1.1	Monitoring hałasu miejskiego	19
6.1.2	Ciche nawierzchnie drogowe	21
6.1.3	Hałas emitowany przez samochody elektryczne i hybrydowe	24
7	Podsumowanie	26
7.1	Osiągnięcia związane z głównym celem naukowym	26
7.2	Pozostałe osiągnięcia	27
8	Zestawienie publikacji.....	29
8.1	Publikacje związane z moim głównym osiągnięciem naukowym	29
8.2	Instrukcje obsługi systemu pomiarowego i programu komputerowego - moich osiągnięć projektowych i konstrukcyjnych	31
8.3	Standardy ISO związane bezpośrednio z moim głównym osiągnięciem naukowym	31
8.4	Publikacje dotyczące moich pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	31
8.5	Międzynarodowe i krajowe projekty badawczo-rozwojowe	33

1 IMIĘ I NAZWISKO

Piotr Mioduszewski

2 POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

1999 - uzyskanie tytułu doktora inżyniera, Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, dyscyplina naukowa Budowa i Eksploatacja Maszyn, rozprawa pt. „Wpływ opon na hałas w kabinie samochodu osobowego” obroniona z wyróżnieniem

1993 - uzyskanie tytułu magistra inżyniera, Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, kierunek Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność: Samochody i Ciągniki

1987 - ukończenie V Liceum Ogólnokształcące w Gdańsku im. Stefana Żeromskiego, klasa o profilu matematyczno-fizycznym

3 INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

2014 - Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, starszy wykładowca

1999 - 2014 Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, adiunkt

1993 - 1999 Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, asystent

4 WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Jako osiągnięcie naukowe wynikające 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.) wskazuję jednotematyczny cykl publikacji zatytułowany:

**ROZWÓJ METOD POMIAROWYCH BADANIA WPŁYWU NAWIERZCHNI DROGOWYCH
NA HAŁAS KOMUNIKACYJNY**

oraz powiązane tematycznie z powyższym cyklem publikacji oryginalne osiągnięcia projektowe i konstrukcyjne (Dz. U. 2011 r. poz. 1165 §3 pkt 4b):

- 1. PROGRAM KOMPUTEROWY DO SYMULACJI HAŁASU PRZEJEŹDZAJĄCYCH POJAZDÓW NA PODSTAWIE HAŁASU EMITOWANEGO PRZEZ POSZCZEGÓLNE ŹRÓDŁA**
- 2. SYSTEM POMIAROWY WRAZ Z OPROGRAMOWANIEM KOMPUTEROWYM DO PROWADZENIA BADAŃ I GROMADZENIA DANYCH POMIAROWYCH HAŁASU OPON SAMOCHODOWYCH I NAWIERZCHNI DROGOWYCH METODĄ CPX PRZY UŻYCIU PRZYCZEPY BADAWCZEJ *TIRESONIC Mk3* I *TIRESONIC Mk4***

Przedmiotowy cykl publikacji tworzy **15** powiązanych tematycznie pozycji [**A1-A15**] wyszczególnionych poniżej wg daty publikacji:

- A1** Ejsmont J., Mioduszeowski P., Taryma S., Sandberg U.: *Tire road noise emission and its measurement: effects of rim and other object close to the tire such as enclosure and wheel housing*. VTI Meddelande nr 797A, 1996, Linköping, Sweden
- A2** Ejsmont J., Mioduszeowski P., Taryma S., Gardziejczyk W.: *Determination of the CPX index for a number of surfaces in various countries*. Proceedings of Inter-Noise 2000, Nice, France, 27-29 August 2000
- A3** Mioduszeowski P.: *Symulacja hałasu emitowanego przez przejeżdżający pojazd*, Polska Akademia Nauk Oddział w Krakowie, Teka Komisji Naukowo – Problemowej Motoryzacji, ISSN 1642–1639, Konstrukcja, Badania, Eksploatacja, Technologia Pojazdów, Samochodowych i Silników Spalinowych, Zeszyt nr 26-27, Kraków 2003
- A4** Mioduszeowski P., Ronowski G., Taryma S., Woźniak R.: *Acoustic properties of the "Tiresonic Mk 2" and "Tiresonic Mk 3" test trailers for tire/road noise measurements*. Proceedings of Inter-Noise 2004. Prague, Czech Republic, 22-25 August 2004
- A5** Ejsmont J.A., Mioduszeowski P., Gardziejczyk W., Wisiołek A., Sandberg U., Padmos C., Roovers C., Morgan P., Anfosso-Ledee F., Ronowski G., Taryma S., Wisiołek M.: *Development of procedures for certifying noise testing equipment*. Ed. Jerzy A. Ejsmont. Gdańsk: Gdańsk University of Technology, Project SILVIA "Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control", No GRD222-2000-31801-S12.335701, ISBN 83-7348-121-4, 2005 (**monografia**)
- A6** Mioduszeowski P., Ejsmont J.: *Tire/road noise measuring principles according to the Close Proximity Method*. Tire Technology International: The Annual Review of Tire Materials and Tire Manufacturing Technology, 2007
- A7** Ejsmont J., Mioduszeowski P.: *Certification of vehicles used for tire/road noise evaluation by CPX method*. Noise Control Eng. J. 57 (2), March-April 2009 (**artykuł JCR**)
- A8** Mioduszeowski P., Ejsmont J.: *Directivity of tire/road noise emission for selected tires and pavements*. Noise Control Eng. J. 57 (2), March-April 2009 (**artykuł JCR**)
- A9** Mioduszeowski P., Taryma S., Woźniak R.: *Temperature influence on tyre/road noise of selected tyres*. Proceedings of Inter-Noise 2014, Melbourne, Australia, 16-19 November 2014
- A10** Woźniak R., Taryma S., Mioduszeowski P.: *Tire camber angle influence on tire-pavement noise*. Noise Control Eng. J. 63 (3), May-June 2015 (**artykuł JCR**)
- A11** Mioduszeowski P., Ejsmont J.A., Taryma S., Woźniak R.: *Temperature influence on tire/road noise evaluated by the drum method*. Proceedings of Inter-Noise 2015, San Francisco, California, USA, 9-12 August 2015

- A12** Świczko-Żurek B., Ejsmont J.A., Mioduszeński P., Ronowski G., Taryma S.: *The effect of tire aging on acoustic performance of CPX reference tires*. Proceedings of Inter-Noise 2015, San Francisco, California, USA, 9-12 August 2015
- A13** Bühlmann E., Sandberg U., Mioduszeński P.: *Speed dependency of temperature effects on road traffic noise*. Proceedings of Inter-Noise 2015, San Francisco, California, USA, 9-12 August 2015
- A14** Ejsmont J.A., Świczko-Żurek B., Owczarzak W., Sommer S., Mioduszeński P.: *Degradation of reference tyres used for CPX measurements*. Proceedings of Inter-Noise 2017, Hong Kong, 27-30 August 2017
- A15** Bühlmann E., Mioduszeński P., Sandberg U.: *An in-depth look at the tire rubber hardness influence on tire/road noise measurements*. Proceedings of Inter-Noise 2018, Chicago, Illinois, USA, 26-29 August 2018 (w druku)

Przedstawione powyżej publikacje stanowią moje osiągnięcia badawczo-naukowe wypracowane w ramach działalności w międzynarodowych zespołach naukowych zajmujących się badaniami hałasu komunikacyjnego emitowanego do środowiska przez pojazdy samochodowe poruszające się po różnych nawierzchniach drogowych. Oświadczenia współautorów publikacji, potwierdzające ich indywidualny wkład w powstanie dorobku zostały umieszczone w Załączniku 5.

Inne publikacje mojego autorstwa bądź współautorstwa związane z głównym osiągnięciem naukowym zostały oznaczone wyróżnikiem **B**, natomiast sporządzone instrukcje obsługi moich osiągnięć projektowych i konstrukcyjnych (systemu pomiarowego i programu komputerowego) – wyróżnikiem **O**. Publikacje dotyczące moich pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, których jestem autorem lub współautorem, oznaczono wyróżnikiem **C**. Standardom ISO związanym bezpośrednio z moim głównym osiągnięciem naukowym został przypisany wyróżnik **S**. Międzynarodowe i krajowe projekty badawczo-rozwojowe, w których brałem czynny udział, zostały oznaczone wyróżnikiem **P**. Zestawienie wszystkich publikacji znajduje się na końcu tekstu autoreferatu.

Ponieważ zagadnieniem rozwoju metod pomiarowych badania wpływu nawierzchni drogowych na hałas komunikacyjny zajmowałem się od samego początku mojej pracy naukowo-badawczej, a moja praca doktorska obroniona w czerwcu 1999 roku pt. „Wpływ opon na hałas w kabinie samochodu osobowego” nie obejmowała tego zagadnienia, przedmiotowy jednotematyczny cykl publikacji zawiera również jedną ważną pozycję **[A1]** opublikowaną przed uzyskaniem tytułu doktora. W związku z tym omówienie moich osiągnięć naukowych będzie przedstawione w rozbiciu na osiągnięcia wypracowane przed i po doktoracie.

5 OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO WW. PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA

Hałas, obok emisji szkodliwych substancji do atmosfery, jest obecnie jednym z najistotniejszych negatywnych oddziaływań pojazdów i ruchu drogowego na środowisko. Najbardziej odczuwalny jest on w pobliżu głównych ciągów komunikacyjnych oraz przy trasach szybkiego ruchu. Dokuczliwy jest on także na osiedlach mieszkaniowych, gdzie w sposób szczególny oczekujemy ciszy i spokoju. Hałas drogowy zależy między innymi od natężenia i kompozycji ruchu drogowego (ilości poruszających się pojazdów w poszczególnych kategoriach: motocykle, samochody osobowe, dostawcze, ciężarowe bez przyczep, z przyczepami, z naczepami), od stanu technicznego pojazdów i rodzaju stosowanego ogumienia, od prędkości ruchu drogowego i jego charakteru (przyspieszanie, hamowanie, poruszanie się ze stałą prędkością). Zależy on również od usytuowania drogi (na płaskim terenie, w zagłębieniu, w tunelu, czy też na estakadzie) i charakteru jej bezpośredniego otoczenia (np. otwarty teren, sąsiedztwo zabudowy, nasypy ziemne, zadrzewienie, ekrany akustyczne). W zasadniczy sposób hałas ten zależy także od nawierzchni drogowej, po której poruszają się pojazdy. Nawierzchnie drogowe mają bezpośredni wpływ na generowanie hałasu przez toczące się po nich opony (główne i dominujące źródło hałasu poruszających się pojazdów) jak również wpływają na rozprzestrzenianie się hałasu emitowanego przez wszystkie źródła hałasu w pojeździe (opony, silnik, układ wydechowy, układ napędowy). Wpływ na rozprzestrzenianie się hałasu mają także warunki atmosferyczne (opady, wiatr, temperatura otoczenia, wilgotność).

Nie ma obecnie wątpliwości, że to właśnie nawierzchnia drogowa powinna być brana pod uwagę jako główny potencjalny czynnik przy działaniach mających na celu redukcję hałasu pochodzącego od ruchu drogowego. Do oceny hałaśliwości nawierzchni obecnie stosuje się głównie dwie metody pomiarowe, obie już znormalizowane i powszechnie stosowane na całym świecie poza Stanami Zjednoczonymi Ameryki Północnej, gdzie dominuje trzecia metoda – OBSI (ang. *On-Board Sound Intensity*).

Metoda SPB (ISO 11819-1:1997 *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-by method*) [S1], metoda statystycznego przejazdu (Rys. 1), polega na bezpośrednim pomiarze poziomu hałasu emitowanego przez pojedyncze, przypadkowe pojazdy uczestniczące w rzeczywistym potoku ruchu. Pomiarom podlega również ich prędkość. Hałas mierzy się za pomocą mikrofonu umieszczonego w polu swobodnym na poboczu drogi na wysokości 1.2 m w stosunku do poziomu nawierzchni drogowej w odległości 7.5 m od środka pasa ruchu, którym poruszają się pojazdy. Metoda ta uwzględnia całkowity hałas pojazdów oraz właściwości nawierzchni wpływające na rozprzestrzenianie się dźwięku. Gdy nie jest możliwe przeprowadzenie pomiarów w polu swobodnym – np. na terenach miejskich, zabudowanych, w obecności ekranów akustycznych lub barier bezpieczeństwa stosuje się zmodyfikowaną wersję metody SPB z wykorzystaniem mikrofonu zamontowanego

bezpośrednio na płaszczyźnie płyty odbijającej (ISO/PAS 11819-4:2013 *Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 4: SPB method using backing board*) [S2].



Rys. 1. *Pomiary hałasu nawierzchni drogowej metodą statystycznego przejazdu (SPB) na autostradzie E18 w okolicach Sztokholmu w Szwecji*

Metoda CPX (ISO 11819-2:2017 *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close proximity method*) [S3], zwana też metodą „bliskiego mikrofonu” lub metodą przyczepową (Rys. 2), zasadniczo uwzględnia tylko wpływ nawierzchni na zjawisko generowania hałasu przez toczące się opony, nie uwzględnia natomiast wpływu nawierzchni na rozprzestrzenianie się dźwięku. W metodzie tej bierze się pod uwagę wyłącznie hałas toczenia opon pomijając pozostałe źródła dźwięku poruszającego się pojazdu.

Uzupełnieniem do powyższych metod pomiarowych jest specyfikacja techniczna (ISO/TS 11819-3:2017 *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference tyres*) [S4] określająca wytyczne odnośnie opon referencyjnych stosowanych w metodzie CPX oraz niezbędne korekcje mierzonych poziomów dźwięku ze względu na twardość gumy opon referencyjnych zmieniającą się na przestrzeni czasu i temperaturę powietrza podczas pomiarów. Osobnym standardem w formie specyfikacji technicznej, traktującym szerzej o wpływie temperatury na pomiary wpływu nawierzchni drogowej na hałas komunikacyjny, jest dokument ISO/TS 13471-1:2017 *Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method* [S5]. W przygotowaniu jest również druga w tej grupie specyfikacja techniczna dla metody SPB: ISO/DTS 13471-2 *Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 2: Correction for temperature when testing with the SPB method*.



Rys. 2. Pomiar hałasu nawierzchni drogowej metodą CPX na drodze RV34 w okolicach Linköpingu w Szwecji

Prace nad przygotowaniem, weryfikacją i aktualizacją procedur pomiarowych dla obu wyżej wymienionych metod przebiegały i nadal są prowadzone w ramach działalności grupy roboczej komitetu technicznego międzynarodowej organizacji normalizacyjnej ISO/TC 43/SC 1/WG 33 – *Measuring method for comparing traffic noise on different road surfaces*. Druga grupa robocza ISO/TC 43/SC 1/WG 27 – *Effect of temperature on tyre/road noise testing*, zajmuje się określeniem wpływu temperatury na pomiary hałaśliwości nawierzchni. Działania obu tych grup są ze sobą ściśle skorelowane.

Główny proces standaryzacyjny metody SPB zakończył się w 1997 roku opublikowaniem normy ISO 11819-1:1997 [S1]. Obecnie prowadzone są prace nad jej aktualizacją i modernizacją. Dodatkową - zmodyfikowaną wersję tej metody opublikowano w 2013 roku w specyfikacji ISO/PAS 11819-4:2013 [S2]. W marcu 2017 roku opublikowaniem norm ISO 11819-2:2017 [S3] oraz ISO/TS 11819-3:2017 [S4] zakończył się główny proces standaryzacyjny metody CPX. W tym samym czasie opublikowana została również specyfikacja techniczna ISO/TS 13471-1:2017 [S5] dotycząca korekcji temperaturowych dla metody CPX. Aktualnie nadal prowadzone są dalsze prace badawcze w kierunku doskonalenia istniejących metod pomiarowych dążące między innymi do wprowadzania niezbędnych korekcji na poziomie poszczególnych częstotliwości widma dźwięku w zamian, jak to ma miejsce aktualnie, korygowania mierzonych całkowitych poziomów dźwięku. Po szerokiej weryfikacji praktycznej rozpatrywana jest również ponownie korekcja ze względu na twardość opon referencyjnych charakteryzująca się w odczuciu niektórych zespołów badawczych zbyt dużymi wartościami współczynników przyjętych w normie.

Od początku swej działalności naukowo-badawczej (od 1993 roku) jestem zaangażowany w prace obu wyżej wymienionych grup roboczych ISO. Czynnie współpracuję z ich ekspertami, uczestniczę w spotkaniach roboczych. Wyniki moich prac badawczo-naukowych znajdują zastosowanie i odzwierciedlenie w treści opracowywanych w ramach tych grup dokumentów normalizacyjnych. Niestety, ze względu na fakt, iż Polska nie jest czynnym członkiem (Członkostwo P) komitetu technicznego ISO/TC 43/SC 1, a jedynie członkiem obserwatorem, nie mogę być oficjalnym ekspertem powyższych grup roboczych.

5.1 CEL NAUKOWY PRAC

Celem naukowym mojej pracy jest określenie i doskonalenie wymagań odnośnie pojazdów badawczych oraz procedur pomiarowych badania wpływu nawierzchni drogowych na hałas komunikacyjny.

5.2 OSIĄGNIĘTE WYNIKI PRAC

Jak wspominałem wcześniej, ponieważ działalność naukowo-badawczą w tym temacie prowadzę od początku mojego zatrudnienia w Politechnice Gdańskiej w 1993 roku, omówienie moich osiągnięć naukowych przedstawię w rozbiciu na osiągnięcia wypracowane przed i po doktoracie uzyskanym w 1999 roku.

5.2.1 OSIĄGNIĘCIA PRZED DOKTORATEM

Moje prace badawczo-naukowe dotyczące rozwoju przedmiotowych metod pomiarowych prowadzone do roku 1999 związane były głównie z opracowaniem, przygotowaniem, weryfikacją i doskonaleniem sprzętu – specjalnych przyczep pomiarowych do badania wpływu nawierzchni na hałas komunikacyjny, a także definiowaniem warunków wykonywania tych pomiarów – opracowywaniem szczegółowych procedur pomiarowych.

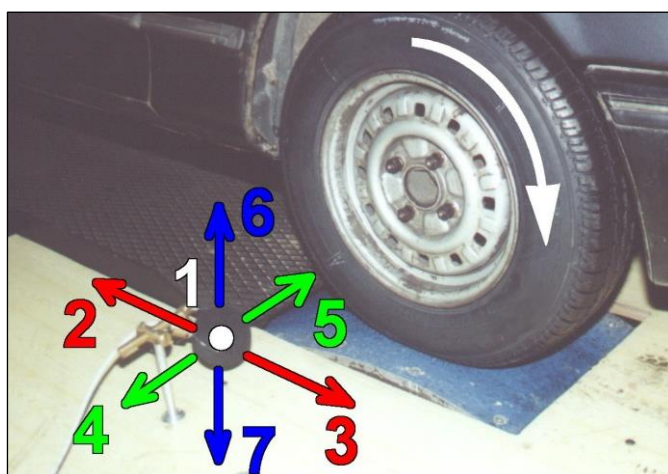
W ramach przeprowadzonego eksperymentu badawczego [A1, B4] określiłem jaki wpływ na rejestrowane w polu bliskim badanego koła poziomy i widmo dźwięku ma obręcz (jej szerokość i masa), na której zamontowana jest opona referencyjna. Uzyskane wyniki pokazały, że masa obręczy nie ma wpływu na mierzony hałas, natomiast w zależności od szerokości użytej obręczy (w ramach szerokości dopuszczalnych dla danego rozmiaru opony) różnice mierzonych poziomów dźwięku mogą sięgać ponad 2 dB. Odzwierciedleniem tych wyników w normie ISO 11819-3:2017 [S4] jest dopuszczenie tylko jednego rozmiaru obręczy, na której montowana jest opona referencyjna.

Kolejny eksperyment przedstawiony w [A1] dotyczył określenia wpływu komory osłonowej przyczepy pomiarowej redukującej zewnętrzny hałas zakłócający (od kół pojazdu ciągnącego, od innych przejeżdżających pojazdów oraz hałas aerodynamiczny od wiatru) na wyniki pomiarów metodą CPX. Wykazałem, że komora ma wpływ na wyniki pomiarów zarówno tłumiąc zewnętrzny hałas zakłócający, ale również potęgując mierzony hałas w niektórych zakresach częstotliwości wskutek odbić dźwięku wewnątrz komory, co w późniejszym czasie, po przeprowadzeniu dalszych eksperymentów [A5, A7, A4, B9, B12], znalazło odzwierciedlenie w wymaganiach certyfikacyjnych pojazdów badawczych określonych w Annex A – „*Certification of the test vehicle*” normy ISO 11819-2:2017 [S3].

Metoda CPX, oprócz pomiarów prowadzonych z wykorzystaniem specjalnej przyczepy pomiarowej ciągniętej przez samochód, dopuszcza również pomiary hałasu za pomocą mikrofonów zamontowanych na samym samochodzie testowym w pobliżu jednego z jego kół.

Aby określić wpływ warunków akustycznych występujących w bezpośrednim otoczeniu badanego koła dla kilku różnych samochodów oraz dla przyczepy pomiarowej przeprowadziłem odpowiedni eksperyment polegający na pomiarach hałasu z wykorzystaniem kilkunastu różnych opon toczonych na 2 replikach nawierzchni drogowych maszyny bieżnej w laboratorium [A1]. Uzyskane rezultaty pokazały znaczący wpływ pojazdu (różnice do 2 dB w mierzonych poziomach dźwięku) na wyniki pomiarów. Konkluzją jest mocna rekomendacja aby wykorzystywać do pomiarów przyczepę pomiarową, a nie samochód badawczy. Oprócz powyższych problemów, z wykorzystywaniem do pomiarów samochodu badawczego wiąże się obecnie wiele innych, takich jak trudności bądź niemożność zastosowania opon referencyjnych (za duży rozmiar kół), zachowania właściwego ciśnienia pompowania i obciążenia badanego koła (wynika ono z masy własnej pojazdu, ilości paliwa, ilości i rozmieszczenia pasażerów), czy też niemożności zapewnienia odpowiedniego ustawienia badanego koła (kąty pochylenia i zbieżności zależą od występowania możliwości regulacyjnych zawieszenia i zmieniają się wraz z jego ugięciem, a powinny być zerowe) i w związku z tym występują odstępstwa od normy. Nie mniej jednak samochód badawczy jest jeszcze cały czas stosowany przez niektóre ośrodki, głównie we Francji, dlatego też grupa robocza ISO zdecydowała się pozostawić w normie taką możliwość. Wiąże się to jednak z brakiem korelacji uzyskiwanych wyników z pomiarami wykonywanymi z wykorzystaniem przyczep pomiarowych i będzie zapewne stanowić przesłankę do jej usunięcia podczas następnej aktualizacji standardu, którą przeprowadza się co 5 lat.

Określenie tolerancji ustawienia mikrofonów w wyznaczonych przez normę pozycjach było celem kolejnego eksperymentu badawczego (Rys. 3) [A1]. Mikrofony w metodzie CPX znajdują się w polu bliskim badanego źródła dźwięku i w związku z tym nawet niewielkie odchylenia mogą skutkować znaczącymi błędami pomiarowymi. Wyniki eksperymentu pokazały, że tolerancja ustawienia mikrofonów w stosunku do pozycji idealnej może wynosić maksymalnie ± 10 mm aby zachować wymaganą dokładność pomiarową i ta wartość znalazła odzwierciedlenie w zapisach normy ISO 11819-2:2017 [S3].



Pozycja mikrofonu:	2	3	4	5	6	7
Prędkość toczenia	Różnica poziomu dźwięku w stosunku do pozycji 1 [dB]					
70 km/h	-0.1	0.1	-0.4	0.4	-0.4	0.3
110 km/h	0.0	0.0	-0.5	0.4	-0.4	0.2

Rys. 3. Badanie wpływu niewielkich odchyłeń położenia mikrofonu od pozycji standardowej

Metoda CPX obecnie określa dokładnie jak powinna być założona opona referencyjna w stosunku do kierunku ruchu pojazdu testowego. Na etapie przygotowywania tych zapisów przeprowadziłem eksperymenty dotyczące wpływu kierunku toczenia opon [B5] oraz strony usytuowania mikrofonów względem opony [B6] na mierzony hałas. Znaczące różnice sięgające 2.6 dB odnotowano dla niektórych opon toczonych w przeciwnych kierunkach, natomiast zasadniczo, poza jednym wyjątkiem, nie odnotowano istotnego wpływu strony usytuowania mikrofonów względem badanego koła. Bazując między innymi na tych eksperymentach, w przyjętym standardzie określono, że koło badane powinno być zamontowane w pojeździe badawczym z zachowaniem wskazanego na oponie kierunku toczenia i jej strony zewnętrznej (w przypadku opon asymetrycznych) oraz że mikrofony powinny być po stronie, na której występuje znak DOT zawierający informacje o dacie produkcji opony.

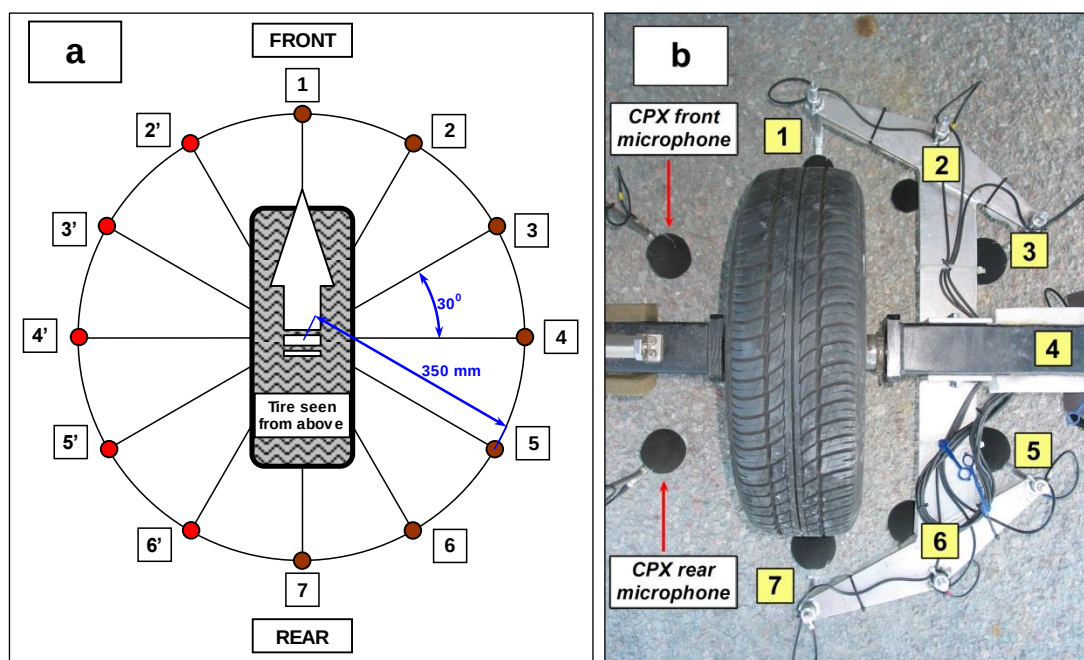
W okresie poprzedzającym uzyskanie tytułu doktora rozpocząłem również prace nad określeniem wpływu temperatury na mierzony hałas. Należy nadmienić, że zajmująca się tym problemem grupa ISO/TC 43/SC 1/WG 27 została powołana w 1992 roku, moje prace prowadzone w tym kierunku były jednymi z pierwszych na świecie, a złożoność tego zjawiska i związane z tym późniejsze problemy nie były nawet przewidywane. Prowadząc eksperymenty badawcze w latach 1994-1995 wyznaczyłem współczynniki wpływu temperatury powietrza na mierzony hałas [B1, B2], określiłem rozkład temperatury na powierzchni opony [B2, B3], a także niezbędny czas nagrzewania opony przed pomiarami aby uzyskać stabilne wyniki pomiaru poziomów dźwięku [B1, B2, B3]. Badałem również wpływ twardości gumy bieżnika na hałas. Osiągnięcia te zostały 20 lat później pozytywnie zweryfikowane rozszerzonym eksperymentem [A11, A13], który stanowił znaczący wkład wiedzy przy wprowadzaniu poszczególnych zapisów do specyfikacji technicznych standardów ISO/TS 11819-3:2017 [S4] i ISO/TS 13471-1:2017 [S5].

5.2.2 OSIĄGNIĘCIA PO DOKTORACIE

W końcu lat 90-tych XX wieku objęta już standardem ISO 11819-1:1997 [S1] metoda SPB, bazująca na pomiarach hałasu poruszających się pojazdów za pomocą mikrofonów usytuowanych w polu dalekim, była uważana za bardziej dokładną i niejako wzorcową w odniesieniu do dopiero powstającej metody CPX, która uwzględniała tylko hałas opon samochodów i bazowała na pomiarach prowadzonych w polu bliskim. W tamtych latach w badaniach wpływu nawierzchni drogowych na hałas komunikacyjny metodą CPX wykorzystywano 4 opony referencyjne (3 z nich reprezentowały hałas samochodów osobowych, 1 – hałas samochodów ciężarowych). Rozważano wówczas jakie powinny być współczynniki wagowe udziału hałasu poszczególnych opon w całkowitym wskaźniku *CPX Index* obliczanym dla danej nawierzchni, aby uzyskać jak najlepszą korelację ze wskaźnikiem wyznaczanym dla pomiarów metodą SPB (*SPB Index*). W publikacji [A2] wykazałem, że proponowane wówczas wszystkie warianty kombinacji współczynników wagowych wykazują dobrą korelację pomiędzy oboma metodami, jak również, że nawet uproszczony wariant

bazujący tylko na dwóch oponach (jednej reprezentującej hałas samochodów osobowych i jednej – ciężarowych) pozwala uzyskać satysfakcjonujące wyniki i dobrą korelację. Finalnie, metoda CPX wykorzystuje tylko takie dwie opony referencyjne [S4].

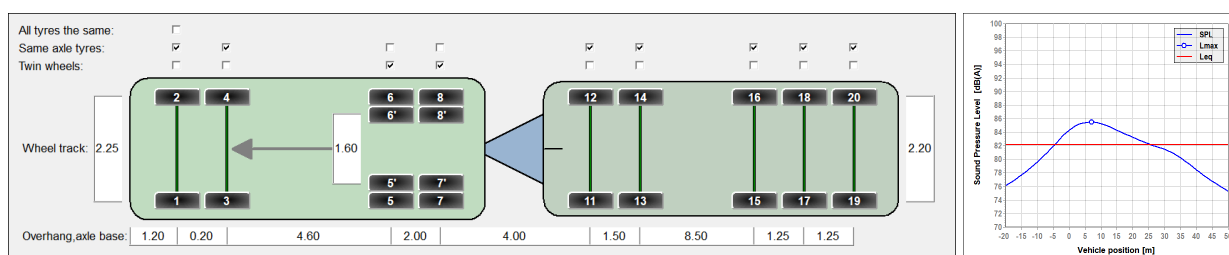
Dla powstającej wówczas metody CPX problem jej korelacji z metodą SPB był (i nadal jest) kluczowy dla jej powszechnego stosowania w badaniach wpływu nawierzchni na hałas komunikacyjny. W celu możliwości ekonomicznej weryfikacji tej korelacji, bez kosztownych i czasochłonnych badań drogowych, niezależnie od warunków atmosferycznych, napisałem specjalny program komputerowy „*Vehicle Noise Simulation*” do symulacji hałasu przejeżdżającego pojazdu [A3, O2, O3], który kwalifikuję jako **oryginalne osiągnięcie projektowe i konstrukcyjne nr 1**. Program ten umożliwia symulację całkowitego hałasu poruszającego się pojazdu na podstawie uprzednio zmierzonych kierunkowych poziomów dźwięku lub charakterystyk widmowych poszczególnych źródeł – opon (np. metodą CPX lub metodą bębnową), silnika oraz układu wydechowego (np. przeprowadzając nieskomplikowane pomiary). W celu uzyskania dokładnych danych hałasu opon do zaimplementowania w moim programie przeprowadziłem kolejny eksperyment badawczy [A8, B11] mający na celu wyznaczenie charakterystyk kierunkowych ich emisji dźwięku z wykorzystaniem 7 mikrofonów rozmieszczonych wokół połowy badanego koła co 30° i zakładając symetryczność emisji dźwięku dla drugiej połowy (Rys. 4). Metodą CPX wykonałem pomiary kierunkowości dźwięku dla 5 różnych opon na 8 różnych nawierzchniach przy 4 prędkościach toczenia. Uzyskane wyniki były wykorzystywane do modelowania hałasu opon podczas prowadzonych symulacji hałasu przejeżdżającego pojazdu, jak również przyczyniły się do poszerzenia wiedzy naukowej dotyczącej kierunkowości emisji hałasu toczenia opon po nawierzchni drogowej.



Rys. 4. Wyznaczenie charakterystyk kierunkowych opony z wykorzystaniem 7 dodatkowych mikrofonów

Za pomocą mojego programu możliwe jest symulowanie hałasu różnego rodzaju pojazdów lub zespołów pojazdów (samochód osobowy, ciężarowy, pojazd z przyczepą, naczepą itp.) o różnych gabarytach i wymiarach (rozstaw kół, osi, ilość osi, pozycja silnika i końcówki układu wydechowego) poruszających się z różną prędkością w różnych odległościach od mikrofonu. Dzięki programowi w nieskomplikowany i tani sposób mamy możliwość sprawdzenia wpływu tych poszczególnych parametrów na hałas całkowity poruszających się pojazdów.

Program ten, napisany w języku Borland Pascal 7.0 i działający pierwotnie w systemach DOS i Windows opartych na DOS-ie, był wielokrotnie wykorzystywany w ramach projektów grupy roboczej ISO/TC 43/SC 1/WG 33 między innymi do ustalenia rekomendacji w selekcji pojazdów podczas wykonywania pomiarów metodą SPB. Zagadnieniem kategoryzacji grup pojazdów, związanym z tą selekcją, zajmowałem się w ramach mojej pracy w projekcie *HARMONOISE* – „*Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise*” [P2] 5 Programu Ramowego Unii Europejskiej. W roku 2017 napisałem nową wersję tego programu dla systemów Windows (używając kompilatora Borland Delphi 7) z całkowicie nowym interfejsem wprowadzania danych i rozbudowaną możliwością konfiguracji pojazdów (Rys. 5) [O3]. Program ten będzie wykorzystywany w najbliższym czasie do określenia wpływu ilości osi samochodów ciężarowych na hałas pojazdów mierzony metodą SPB podczas prowadzonych prac w ramach tej grupy nad aktualizacją standardu ISO 11819-1:1997 [S1]. Aktualna wersja mojego programu była już z powodzeniem wykorzystywana w projekcie „*Performance Based Standards for High Capacity Transports in Sweden*” [P9] finansowanym przez Swedish Innovation Agency VINNOVA. W przygotowaniu do publikacji znajduje się referat na konferencję HVT15 w Rotterdamie w dniach 2-5 października 2018 roku [B18].



Rys. 5. Model pojazdu w programie *Vehicle Noise Simulation* oraz wykres z wynikami przeprowadzonej symulacji

W tym samym czasie prowadziłem dalsze badania naukowe nad rozwojem metody CPX. Mój wkład w wyznaczenie współczynnika korekcyjnego stosowanego w normie ISO 11819-2:2017 [S3] dla korygowania prędkości rzeczywistej podczas pomiarów metodą CPX do prędkości referencyjnej został przedstawiony w [B7]. Wartości współczynnika określiłem na podstawie analizy statystycznej wyników wykonanych przeze mnie pomiarów hałasu 274 opon samochodów osobowych na stanowisku bębnowym w laboratorium.

Politechnika Gdańska posiada przyczepę pomiarową do badania wpływu nawierzchni na hałas komunikacyjny. Jej pierwsza wersja, *Tiresonic Mk1*, została zaprojektowana i wykonana w 1979 roku. W roku 1990 została ona przebudowana do wersji *Tiresonic Mk2*, a w 2003 roku zakończyła się jej gruntowna modernizacja do wersji *Tiresonic Mk3*. Bazując na idei rozwiązań technicznych stosowanych w poprzednich wersjach przyczepy wszystkie jej systemy zostały jednakże zaprojektowane i wykonane od nowa uwzględniając aktualny rozwój wiedzy oraz nowe możliwości techniczne i technologiczne. Obecna wersja przyczepy pomiarowej, *Tiresonic Mk4* (Rys. 6), zasadniczo niewiele różniąc się sprzętowo od poprzedniej wersji – głównych modernizacji dokonano w zakresie systemu pomiarowego, została zbudowana zgodnie z normą ISO 11819-2:2017 [S3] i całkowicie spełnia określone w niej wymagania certyfikacyjne. Historię modernizacji przyczepy i jej systemu pomiarowego opublikowałem w [A6, B14]. Należy zaznaczyć, że przyczepa *Tiresonic Mk4* została wyprodukowana w 4 egzemplarzach, z których jeden jest użytkowany w Politechnice Gdańskiej, drugi w Instytucie Budowy Dróg i Mostów w Warszawie, trzeci w Universidad de Castilla-La Mancha w Hiszpanii, a czwarty w Beijing University of Technology w Chinach.



Rys. 6. Przyczepa pomiarowa *Tiresonic Mk 4* do badania hałasu opon samochodowych i nawierzchni drogowych zaprojektowana i wykonana w Politechnice Gdańskiej

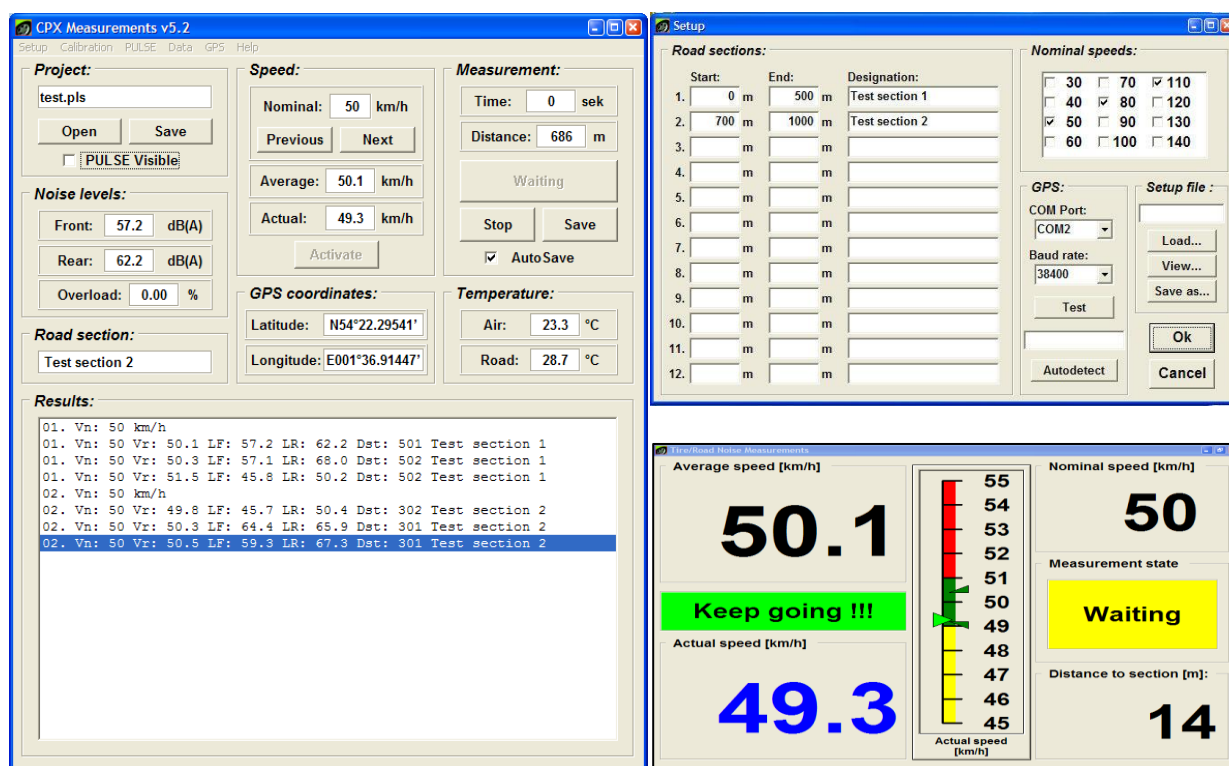
Do przyczepy *Tiresonic Mk3* w 2003 roku zaprojektowałem i wykonałem pierwszą wersję systemu pomiarowego. Napisałem własne oprogramowanie komputerowe sterujące całym systemem oraz rejestrujące i gromadzące dane pomiarowe. Na przestrzeni dwóch kolejnych sezonów pomiarowych system ten był testowany i jednocześnie modernizowany. W roku 2006 osiągnął swą obecną funkcjonalność. Na listopad 2010 roku datowana jest najnowsza wersja oprogramowania komputerowego (*CPX Measurements ver. 5.3*) zawiadującego systemem pomiarowym przyczepy *Tiresonic Mk4* [O1]. System pomiarowy wraz z oprogramowaniem

komputerowym do prowadzenia badań i gromadzenia danych pomiarowych hałasu opon samochodowych i nawierzchni drogowych metodą CPX przy użyciu przyczepy badawczej *Tiresonic Mk4* jest całkowicie zgodny z wymaganiami określonymi w normie ISO 11819-2:2017 [S3] i stanowi moje **oryginalne osiągnięcie projektowe i konstrukcyjne nr 2**.

System pomiarowy mojego autorstwa (Rys. 7) [O1, A6, B14], dedykowany do obecnej wersji przyczepy *Tiresonic Mk4*, bazuje na przenośnym czterokanałowym analizatorze dźwięku B&K PULSE zsynchronizowanym z pomiarem prędkości, temperatury powietrza i nawierzchni oraz pozycji GPS. W skład systemu wchodzi także dodatkowy kolorowy monitor dla kierowcy, na którym wyświetlane są istotne informacje dotyczące przebiegu pomiarów. System zapewnia całkowicie automatyczne lub, gdy trzeba, półautomatyczne prowadzenie pomiarów wraz ze wstępną analizą ich wyników w czasie rzeczywistym zgodnie z obowiązującą normą ISO 11819-2:2017 [S3]. Zasadniczo pomiary mogą być wykonywane przez jedną osobę będącą jednocześnie kierowcą i operatorem systemu. Wyniki aktualnie prowadzonego pomiaru są na bieżąco wyświetlane na ekranie (Rys. 8), pokazując czy jest on prawidłowy, czy też został zakłócony i należy go powtórzyć. Stanowi to dużą zaletę w porównaniu do innych systemów niepracujących w czasie rzeczywistym, w których operator przeprowadza analizy zarejestrowanych sygnałów już po zakończeniu badań, w laboratorium i nie ma możliwości szybkiego powtórzenia zakłóconych pomiarów. Wszystkie cztery wyprodukowane egzemplarze przyczepy *Tiresonic Mk4* zostały wyposażone w ten system, który jest z powodzeniem wykorzystywany przez poszczególne instytucje.



Rys. 7. System pomiarowy przyczepy badawczej *Tiresonic Mk 4*

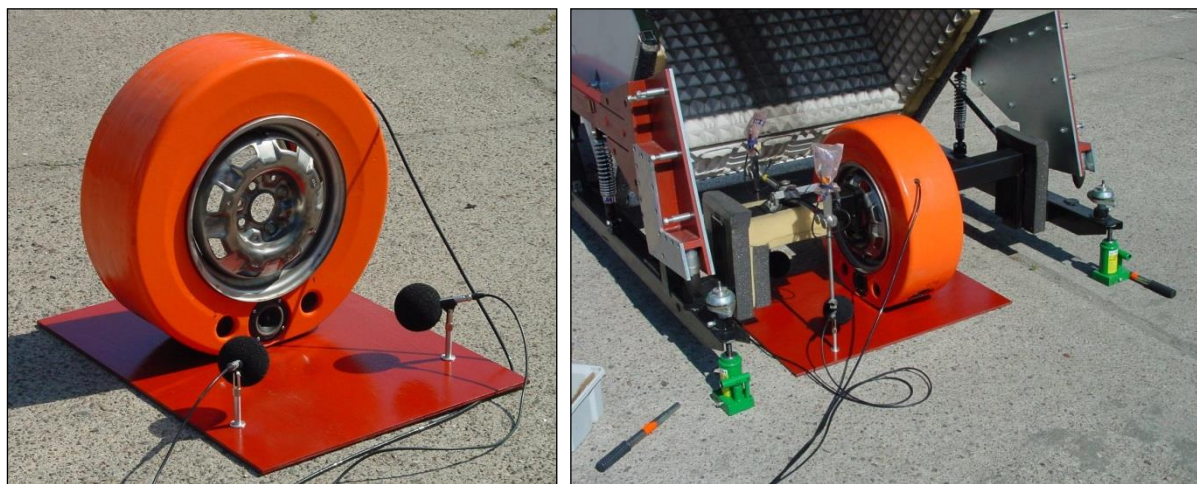


Rys. 8. Oprogramowanie komputerowe zarządzające pomiarami (panel główny operatora pomiarów - po lewej, panel ustawień operatora pomiarów - po prawej u góry, panel wyświetlacza kierowcy - po prawej na dole)

Jednym z podstawowych celów projektu *SILVIA* – „Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control” [P3] realizowanego w ramach 5 Programu Ramowego Unii Europejskiej było określenie procedur certyfikacji i klasyfikacji pojazdów testowych do prowadzenia badań metodą CPX. Biorąc aktywny udział w tym projekcie przeprowadziłem szereg eksperymentów pozwalających na dokładne zdefiniowanie procedur certyfikacyjnych pojazdów badawczych wykorzystywanych podczas pomiarów metodą CPX w zakresie hałasu zakłócającego, odbić dźwięku w komorze, urządzeń do pomiaru prędkości oraz pozycji mikrofonów. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów oraz propozycje procedur certyfikacji sprzętu zostały opublikowane w monografii [A5], artykule w czasopiśmie wyróżnionym na liście JCR [A7] oraz w materiałach konferencyjnych [A4, B9, B12], a także w skrócie przedstawione poniżej.

Odnosnie certyfikacji w zakresie hałasu zakłócającego skupiłem się na hałasie pochodzącym od pojazdów wymijających oraz wyprzedzających pojazd testowy i zaproponowałem procedurę różnicową jednoczesnego pomiaru dźwięku wewnątrz i na zewnątrz komory osłonowej. W zakresie odbić dźwięku w komorze osłonowej zaproponowałem wykorzystanie sztucznego źródła dźwięku o kształcie i wymiarach odpowiadających badanemu kołu (Rys. 9) generującemu biały lub różowy szum. Dla urządzeń wykorzystywanych w pojeździe testowym do pomiaru prędkości zaproponowałem, w zależności od zasady działania tego urządzenia, odpowiednie procedury kalibracyjne określające zarówno metodę kalibracji, jak również częstotliwość jej

przeprowadzania. Odnośnie ustawienia mikrofonów określiłem warunki, w jakich należy prowadzić pomiary, wymagania dotyczące specjalnych przyrządów pomiarowych oraz częstotliwość pomiarów. Dla każdego z wyżej wymienionych zagadnień zaproponowałem także wartości referencyjne.



Rys. 9. Sztuczne koło - źródło dźwięku do wyznaczania charakterystyki akustycznej komory osłonowej przyczepy

Zaproponowane procedury certyfikacyjne zostały następnie zweryfikowane podczas Round Robin Testu pojazdów do badania wpływu nawierzchni na hałas komunikacyjny, który wspólnie z partnerami z innych krajów europejskich przygotowywałem i przeprowadziłem w ramach tegoż projektu [B8]. Jednym z zagadnień, które szczegółowo opracowałem i przeanalizowałem była również powtarzalność i odtwarzalność pomiarów wykonanych przez wszystkie zespoły uczestniczące w Round Robin Test [B10]. Finalnie wypracowane w ramach projektu *SILVIA* zapisy dotyczące procedur certyfikacji pojazdów testowych zostały później zawarte w Annex A – „*Certification of the test vehicle*” normy ISO 11819-2:2017 [S3]. Umieszczony został tam również zapis odnośnie tolerancji ustawienia koła badanego w pojeździe testowym. Wyniki eksperymentu dotyczącego tego zagadnienia, który przeprowadziłem na maszynie bieżnej w laboratorium Politechniki Gdańskiej zostały opublikowane w [A10].

Projekt *ROSANNE* – „*Rolling resistance, Skid resistance, And Noise Emission measurement standards for road surfaces*” [P7], realizowany w latach 2013 - 2016 w ramach 7-go Programu Ramowego Unii Europejskiej, miał na celu rozwój i zharmonizowanie metod pomiarowych przyczepności, hałaśliwości i oporu toczenia nawierzchni drogowych oraz przygotowanie propozycji standardów tych metod. W ramach pracy w tym projekcie zajmowałem się głównie zagadnieniami wpływu temperatury oraz wpływu starzenia się (twardości mieszanki bieżnika) opon referencyjnych na mierzony hałas drogowy. Przeprowadziłem szereg eksperymentów, w tym drogowe pomiary hałasu metodą CPX dla 10 różnych opon (w tym 2 opony referencyjne wg ISO/TS 11819-3:2017) w zakresie temperatur od 5 do 30 °C co około 5 °C [A9] oraz pomiary laboratoryjne modyfikowaną metodą CPX na maszynach bieżnych hałasu dla 14 opon (w tym 2

komplety opon referencyjnych o różnej twardości oraz 2 opony do samochodów ciężarowych) w zakresie temperatur od 6 do 36 °C z krokiem co 10 °C na 5 różnych replikach nawierzchni drogowych [A11]. Na podstawie szczegółowej analizy wyników przeprowadzonych pomiarów na wstępie określiłem zależność pomiędzy temperaturą powietrza a temperaturą nawierzchni drogowej. Stwierdziłem, że w warunkach laboratoryjnych zależność ta jest inna z uwagi na brak bezpośredniego promieniowania słonecznego wpływającego na temperaturę nawierzchni w warunkach drogowych oraz różnice w stosunku do badań drogowych w chłodzeniu opony związanym z przepływem powietrza wokół badanej opony i kontaktem opony z nawierzchnią drogi, jak również z uwagi na brak bezpośredniego wpływu pogody (zachmurzenia, nasłonecznienie, historii opadów atmosferycznych) na temperaturę nawierzchni. W przypadku pomiarów drogowych jako wykorzystywaną do korekcji wskazałem temperaturę powietrza, natomiast w przypadku pomiarów prowadzonych w laboratorium zaproponowałem wprowadzenie złożonego współczynnika korekcyjnego temperatury (composite temperature correction coefficient) [A11] bazującego na współczynnikach wyznaczonych zarówno dla temperatury powietrza jak i dla temperatury nawierzchni, po której toczona jest opona.

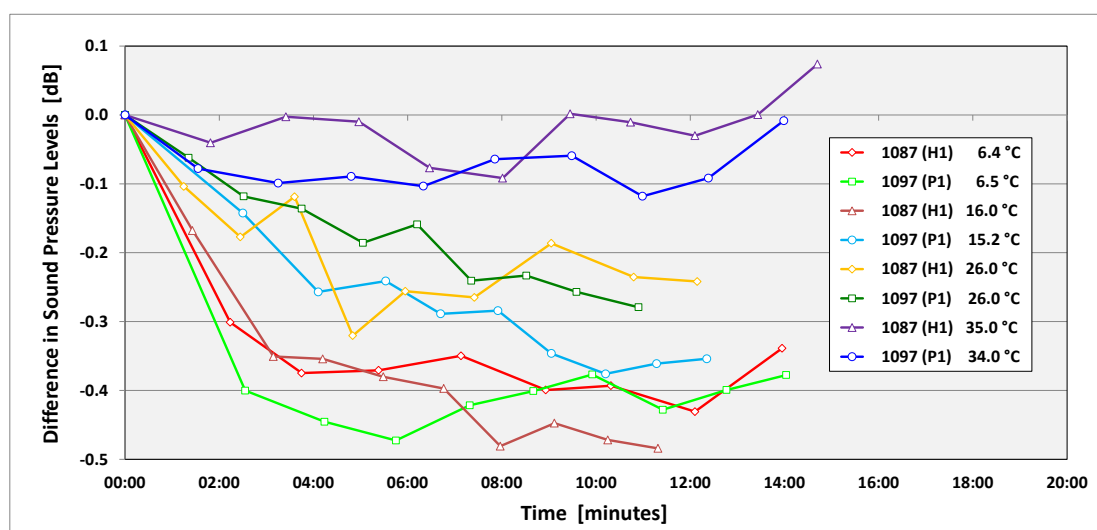
Dla każdej kombinacji badana opona/nawierzchnia/prędkość wyznaczyłem współczynniki korekcyjne mierzonych poziomów dźwięku w zależności od temperatury [A9, A11]. Zaobserwowałem, że są one również w niewielkim stopniu zależne od prędkości. Zagadnienie to szczegółowo przeanalizowałem (szczegóły w publikacji [A13]) biorąc również pod uwagę rezultaty eksperymentów przeprowadzonych przez inne ośrodki badawcze. Na tej podstawie określiłem zależność współczynnika korekcyjnego od prędkości. Wartości wyznaczonych przeze mnie współczynników korekcji temperaturowej miały znaczący wpływ na współczynniki przyjęte w standardach ISO/TS 11819-3:2017 [S4] oraz ISO/TS 13471-1:2017 [S5]. Podsumowanie moich prac przeprowadzonych w ramach projektu *ROSANNE* dotyczących zagadnienia wpływu temperatury na hałas zostało przedstawione w raporcie [B15].

Aby zwiększyć dokładność korekcji temperaturowej w metodzie CPX rozpocząłem pracę nad wyznaczeniem temperaturowych współczynników korekcyjnych dla poszczególnych częstotliwości mierzonego widma dźwięku [B16]. Niestety zbyt mała ilość dostępnych danych oraz różnice rezultatów uzyskanych w eksperymentach przeprowadzonych przez różne instytuty badawcze nie pozwalają na razie na wyznaczenie jednoznacznych współczynników.

Osobnym analizowanym przeze mnie zagadnieniem był wpływ starzenia się opon referencyjnych na emitowane poziomy dźwięku [A12, A14, A15, B17]. Przeprowadzając dodatkowe eksperymenty badawcze oszacowałem zakres możliwych różnic mierzonych poziomów dźwięku w zależności od wieku (twardości bieżnika) badanej opony. Finalnie w specyfikacjach ISO/TS 11819-3:2017 [S4] oraz ISO/TS 13471-1:2017 [S5] określono współczynniki korekcyjne z uwagi na twardość mieszanki bieżnika badanej opony odmienną od wartości referencyjnej 66 Shore A biorąc pod uwagę również uzyskane przeze mnie rezultaty.

Praktyczna weryfikacja przyjętych współczynników wykazała jednak ich przeszacowanie [A15], dlatego też wkrótce do przedmiotowych specyfikacji będzie wprowadzona odpowiednia poprawka. W specyfikacjach szczegółowo zdefiniowano również metodę pomiarową twardości opon referencyjnych, gdyż występowały różnice pomiędzy pomiarami wykonywanymi przez różne ośrodki badawcze jak i poszczególne osoby dokonujące pomiarów.

Badałem także, związany z twardością mieszanki bieżnika opony, czas nagrzewania opony testowej przed pomiarami aby uzyskać stabilizację generowanego hałasu [A11]. W warunkach laboratoryjnych wyniósł on poniżej 5 minut (Rys. 10). W standardzie ISO 11819-2:2017 [S3], z uwagi na zróżnicowanie warunków pomiarów drogowych, przyjęty został czas nagrzewania 15 minut przy prędkości 80 km/h oraz minimum 10 minut dla wyższych prędkości.



Rys. 10. Różnice poziomów dźwięku zarejestrowane w czasie nagrzewania opon referencyjnych badanych w różnych temperaturach otoczenia

6 POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO - BADAWCZE

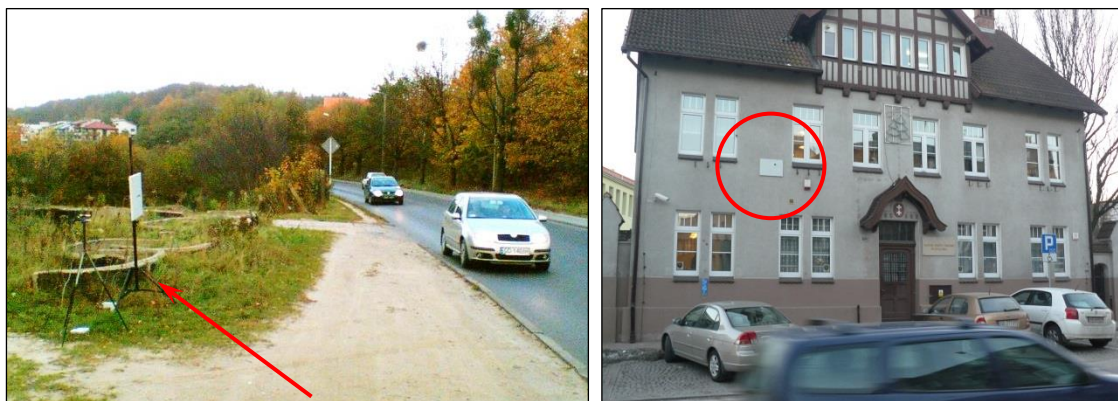
Moje pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze należy rozpatrywać w trzech głównych obszarach: monitoring hałasu miejskiego, ciche nawierzchnie drogowe oraz hałas emitowany przez samochody elektryczne i hybrydowe.

6.1.1 MONITORING HAŁASU MIEJSKIEGO

Dyrektywa Środowiskowa Unii Europejskiej nr 2002/49/EC zobligowała wszystkie kraje UE do stworzenia map akustycznych hałasu dużych aglomeracji miejskich, portów lotniczych, głównych dróg i linii kolejowych bazując w pierwszym etapie (do 2007 roku) na narodowych metodach prognozowania hałasu, a w kolejnych etapach na metodyce wypracowanej w ramach projektów 5-tego Programu Ramowego Unii Europejskiej *HARMONOISE* – „Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of

Environmental Noise” [P2] oraz *IMAGINE* – „*Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment*” [P5], w których realizacji aktywnie uczestniczyłem. Metodyka ta przewiduje oddzielne moduły prognozowania hałasu dla poszczególnych źródeł (hałas drogowy, kolejowy, lotniczy i przemysłowy) oraz moduł propagacji dźwięku.

Zgodnie z tą dyrektywą władze miasta Gdańska w 2007 roku sporządziły pierwszą mapę akustyczną aglomeracji aktualizowaną następnie co 5 lat. W związku z niedostępnością niezbędnych danych dla wszystkich lokalizacji bazowano w wielu miejscach na ogólnych założeniach i przyjmowano do modelu wartości szacunkowe. Dlatego też postanowiono zbudować pierwszy w Polsce i również jeden z pierwszych w Europie system monitoringu hałasu. Uruchomiony on został w 2008 roku. W pierwszym etapie system składał się z 42 stacji monitorujących rozmieszczonych na obszarze całego miasta. W 2012 roku rozbudowano system do 85 stacji, natomiast obecnie funkcjonuje nadal 40 stacji. Pojedyncza stacja monitoringu składa się z aluminiowej płyty o grubości 25 mm i wymiarach 50 x 70 cm umieszczonej na ścianie budynku - na większej płaszczyźnie odbijającej dźwięk. W każdej ze stacji zainstalowany jest mikrofon rejestrujący dźwięk oraz prosta stacja meteorologiczna rejestrująca temperaturę powietrza i wilgotność. W niektórych stacjach zainstalowano radar do pomiarów natężenia ruchu drogowego. Osobiście brałem udział w testowaniu w warunkach naturalnych stacji monitoringu (Rys. 11) zbudowanej zgodnie z wytycznymi projektu *IMAGINE* i wykorzystującej technikę płyty odbijającej opisaną w specyfikacji ISO/PAS 11819-4:2013 [S2].



Rys. 11. Stacja pomiarowa systemu monitoringu hałasu podczas wstępnych badań w warunkach naturalnych (z lewej) oraz zamontowana już na fasadzie budynku (z prawej)

Wykorzystując dane pomiarowe zarejestrowane i zgromadzone przez system monitoringu hałasu przeprowadziłem weryfikację sporządzonych dla miasta Gdańska map akustycznych. Wyniki analiz opublikowałem w artykule w czasopiśmie wyróżnionym na liście JCR [C4] oraz w referacie na konferencji międzynarodowej [C7]. Wykazałem występowanie znaczących różnic wywodzących się zarówno z niedoskonałości metod modelowania map hałasu oraz problemów z dostępnością danych wejściowych, jak również z dynamicznymi zmianami w infrastrukturze miasta oraz zmianami w potokach i natężeniu ruchu drogowego.

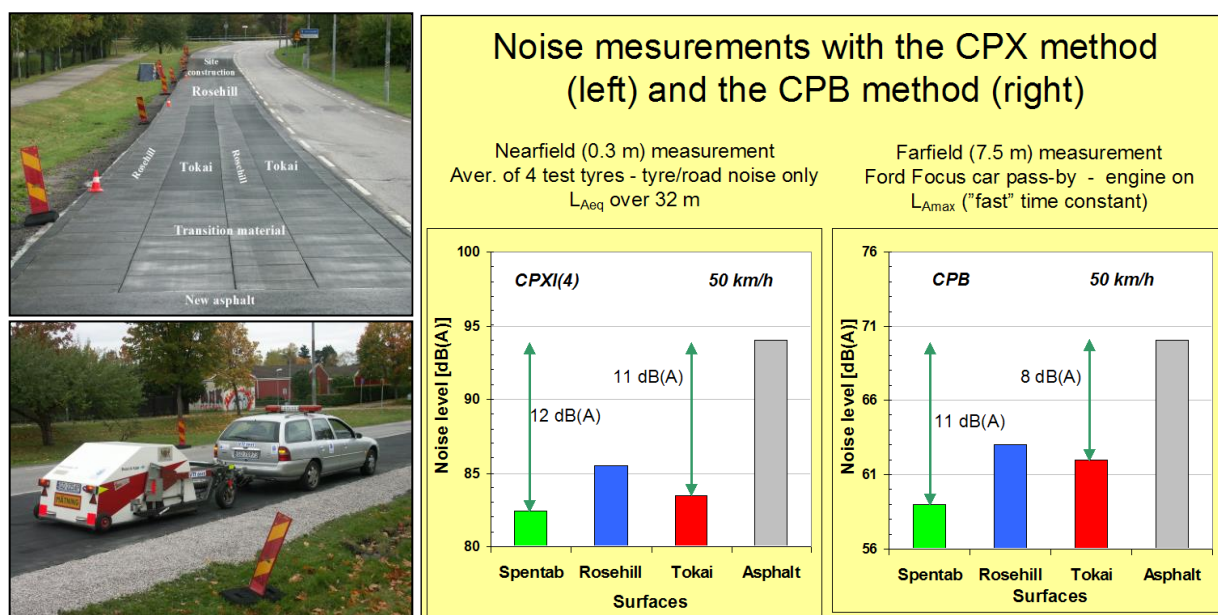
6.1.2 CICHE NAWIERZCHNIE DROGOWE

Cichą nawierzchnią nazywany warstwę ścieralną charakteryzującą się redukcją hałasu ruchu drogowego o minimum 3 dB w odniesieniu do typowej, powszechnie używanej nawierzchni – zwykle asfaltu mastyksowego (SMA) lub betonu asfaltowego (DAC) o uziarnieniu $11 \div 16$ mm, nazywanej „nawierzchnia referencyjną”.

Jednym z celów projektu 5-go Programu Ramowego Unii Europejskiej *SILVIA* – „*Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control*” (2002 - 2005) [P3] było określenie możliwości poprawy cech akustycznych cichych nawierzchni – zwiększenia redukcji hałasu drogowego, jak najdłuższego utrzymania początkowych parametrów akustycznych na przestrzeni czasu, a także zwiększenia trwałości tych nawierzchni. W ramach projektu ułożono kilkanaście nowych odcinków cichych nawierzchni w różnych technologiach (cienkie warstwy asfaltowe, nawierzchnie porowate jedno- i dwuwarstwowe oraz nawierzchnie poroelastyczne), a także odcinki nawierzchni referencyjnych. Uczestnicząc aktywnie w tym projekcie – wykonując pomiary hałasu tych nawierzchni dwoma metodami (CPX i SPB) oraz analizując uzyskane wyniki uczestniczyłem w formułowaniu wniosków i wytycznych dotyczących właściwości akustycznych badanych nawierzchni, które zostały zawarte w raporcie końcowym projektu – *Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces* [C1]. Jednym z głównych rezultatów tego projektu było również opracowanie procedury kwalifikacji i nadawania etykiet nawierzchniom oceniając ich właściwości akustyczne. Europejska grupa standaryzacyjna CEN/TC 227/WG 5 – „*Surface characteristics*” zaakceptowała tę procedurę jako podstawy do przygotowania w przeciągu kilku lat metody klasyfikacji akustycznej nawierzchni drogowych – nadawania nawierzchniom „etykiet hałaśliwości” na wzór etykiet obecnie nadawanych oponom samochodowym.

Wyjątkowo cichą nawierzchnią drogową jest specjalistyczna nawierzchnia poroelastyczna (PERS). Jest to warstwa ścieralna wykonana zasadniczo z gumowego granulatu lub wiórków gumowych bądź też podobnego elastycznego materiału spajanego za pomocą odpowiednich żywic w sposób zapewniający pozostanie wewnątrz nawierzchni wolnych, połączonych ze sobą przestrzeni powietrznych. Zawartość wolnych przestrzeni powinno stanowić minimum 20 % objętości nawierzchni, natomiast udział wagowy materiału gumowego powinien wynosić powyżej 20 %. Nad rozwojem nawierzchni poroelastycznych pracowałem uczestnicząc w projekcie *PERSUADE* – „*PoroElastic Road SURface: an innovation to Avoid Damages to the Environment*” [P6] realizowanym w latach 2009 – 2015 w ramach 7-go Programu Ramowego Unii Europejskiej. Jego głównym celem było opracowanie trwałej, opłacalnej nawierzchni poroelastycznej z wykorzystaniem zużytych opon, która przyniosłaby korzyści środowisku, nie tylko znacząco przyczyniając się do zmniejszenia hałasu i wibracji, lecz także pomagając rozwiązać problem zużytych opon wyrzucanych lub spalanych w państwach członkowskich UE, co ma wpływ na zanieczyszczenie gleby i powietrza. W projekcie tym byłem odpowiedzialny za

pomiary hałasu na odcinkach testowych nawierzchni poroelastycznych ułożonych w Polsce, Szwecji i Danii, jak również za pomiary hałasu tej samej nawierzchni wykonanej w postaci elastycznych płyt i naklejonej na bębny dwóch maszyn bieżnych w laboratorium Politechniki Gdańskiej [C16]. Na podstawie analiz rezultatów pomiarów określiłem, że stosując nawierzchnię poroelastyczną można uzyskać redukcję hałasu aż do 12 dB (Rys. 12) w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej zarówno dla samochodów osobowych jak i ciężarowych [C12]. Stwierdziłem również, że nie występują istotne różnice pomiędzy pomiarami laboratoryjnymi i drogowymi dla tej nawierzchni [C12]. W ramach przeprowadzonych badań laboratoryjnych hałasu opon w różnych temperaturach wyznaczyłem temperaturowe współczynniki korekcyjne dla nawierzchni poroelastycznej [C23].



Rys. 12. Pomiary hałasu nawierzchni poroelastycznych w Szwecji oraz wyniki pomiarów metodami CPX i SPB

Dotąd nierozwiązanym niestety problemem dotyczącym nawierzchni poroelastycznych jest jej stosunkowo niska trwałość sięgająca 2-3 lat i związana z tym nieopłacalność ekonomiczna. Warto jednak dodać, że na przestrzeni tego czasu jej parametry akustyczne nie ulegają istotnemu pogorszeniu, co jest jej dużą zaletą w porównaniu do konwencjonalnych cichych nawierzchni. W maju 2018 roku rozpoczął się przygotowany z moim udziałem projekt *SEPOR* – „Bezpieczna, proekologiczna poroelastyczna nawierzchnia drogowa” [P10] w ramach programu TECHMASTSTRATEG finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Pracując w tym projekcie będę kontynuował badania nad dalszym rozwojem nawierzchni poroelastycznych.

Konwencjonalne ciche nawierzchnie drogowe są w stanie zapewnić redukcję hałasu do 7 dB w początkowym stanie, a następnie redukcja ta maleje zwykle 1-2 dB rocznie. Najpopularniejsze z nich to nawierzchnie porowate jedno- i dwuwarstwowe oraz cienkie dywaniki o nieciągłym i

niewielkim uziarnieniu. Nawierzchnie porowate są obecnie powszechnie stosowane głównie na drogach szybkiego ruchu zarówno w państwach europejskich i poza Europą (głównie Japonia). Wyróżnić tu należy szczególnie Holandię, gdzie pierwsze takie nawierzchnie ułożono w roku 1972, już w 2000 roku 90% autostrad w tym kraju wybudowanych było w tej technologii, a w 2012 roku wprowadzono administracyjny obowiązek stosowania nawierzchni porowatych na wszystkich autostradach. Nawierzchnie porowate układane są również w krajach skandynawskich (Szwecja, Dania, Norwegia), gdzie panują inne – bardziej surowe warunki klimatyczne oraz użytkuje się opony kolcowane. Dostosowywaniem parametrów technicznych oraz technologii układania nawierzchni porowatych do tych warunków zajmowałem się w ramach kilkunastu międzynarodowych projektów badawczo-rozwojowych (jako kierownik strony polskiej oraz główny wykonawca) finansowanych głównie przez Swedish Transport Administration oraz firmy Svevia AB i HTC Sweden AB [P11]. Badałem wpływ na hałas oraz trwałość nawierzchni szeregu technologii i czynników takich jak początkowa jakość akustyczna, jej zmiany na przestrzeni czasu, trwałość mechaniczna i akustyczna, wpływ dolnej warstwy w nawierzchni dwuwarstwowej, technika układania poszczególnych warstw, zanieczyszczenie nawierzchni, zabiegi odświeżające i odmładzające, wykruszanie się i degradacja warstwy ścieralnej, czy też szlifowanie nierówności warstwy wierzchniej (Rys. 13) [C6, C5, C17]. W wyniku kilkuletnich badań udało się opracować bardzo dobrą dwuwarstwową nawierzchnię porowatą dostosowaną do warunków skandynawskich [C13]. Projekty badawczo-rozwojowe w tym zakresie są nadal kontynuowane.



Rys. 13. Maszyna do szlifowania nawierzchni (HTC Sweden AB) wykorzystana w eksperymencie przeprowadzonym w 2011 oraz wyszlifowany fragment nawierzchni autostrady E4 w miejscowości Huskvarna (Szwecja)

W Europie pierwsze eksperymentalne odcinki cichych nawierzchni powstały w latach 60-tych XX wieku, w Polsce – w 2000 roku w Poznaniu. Głównym celem ich budowy była redukcja hałasu ruchu drogowego. Dalszy, zdecydowanie szybszy rozwój cichych nawierzchni w Polsce nastąpił od roku 2007, gdy rozpoczęto układanie takich nawierzchni na szerszą skalę na nowobudowanych drogach szybkiego ruchu oraz na remontowanych ulicach miast. Od samego

początku uczestniczyłem w badaniach hałaśliwości tych nawierzchni przeprowadzając pomiary akustyczne, następnie szczegółowo analizując ich wyniki i wskazując wykryte zależności oraz ewentualne błędy wykonawcze pomagałem producentom nawierzchni w rozwoju i doskonaleniu ich produktów. Wykonywałem również prace na zlecenie inwestorów pomagając im kontrolować jakość akustyczną nawierzchni „odbieranych” od wykonawców. Większość prac była jednak wykonywana na zlecenie firm produkujących i układających nawierzchnie [P12], stąd wyniki badań nie mogły zostać opublikowane. Tylko niektóre wyniki przeprowadzonych pomiarów i ich analizy, za zgodą zlecniodawców, zostały opublikowane w rozdziale monografii [C10], w artykule w czasopiśmie wyróżnionym na liście JCR [C19] oraz w materiałach konferencyjnych [C8, C9].

Problematyką wpływu starzenia się nawierzchni na jej hałaśliwość zajmowałem się nie tylko w odniesieniu do cichych nawierzchni, choć to głównie w ich przypadku zależy nam, aby jak najdłużej zachować jak największe właściwości redukujące hałas drogowy. Monitoring właściwości akustycznych wszystkich typów nawierzchni drogowych prowadziłem zarówno dla warstw ścieralnych układanych w Polsce [P12] jak i w innych krajach Unii Europejskiej [P11]. Wnioski i zalecenia zarówno dla producentów nawierzchni jak i administracji drogowych decydujących i zlecających układanie poszczególnych typów nawierzchni zawarłem w artykule w czasopiśmie wyróżnionym na liście JCR [C19] oraz w materiałach konferencyjnych [C21, C8, C9].

6.1.3 HAŁAS EMITOWANY PRZEZ SAMOCHODY ELEKTRYCZNE I HYBRYDOWE

Wyprzedzając gwałtowny rozwój popularności samochodów elektrycznych na świecie jak również szybki wzrost ich udziału w ruchu drogowym państw Unii Europejskiej, emitowanym przez pojazdy elektryczne i hybrydowe hałasem zajmowałem się już ponad 10 lat temu. W tamtym czasie licznie pojawiały się publicznie stawiane pytania odnośnie konieczności wyposażania samochodów napędzanych niemal bezgłośnymi silnikami elektrycznymi w dodatkowe urządzenia emitujące sygnały ostrzegawcze ze względów bezpieczeństwa ruchu drogowego (piesi i rowerzyści mogą nie usłyszeć zbliżających się takich pojazdów, szczególnie poruszających się z niskimi prędkościami). W odpowiedzi na te pytania przeprowadziłem odpowiednie badania [C2] (głównie w ramach międzynarodowego projektu *EcoDriving – Influence of EcoDriving on Noise Emissions* [P1]) oraz symulacje (głównie w ramach międzynarodowego projektu *VENOM – Development of Vehicle Noise Model VENOM* [P4]) i wykazałem w publikacji [C3], że nie istnieją żadne przesłanki ku temu. W związku z tym nie ma potrzeby montowania dodatkowych urządzeń wysyłających sygnały ostrzegawcze w pojazdach elektrycznych, ponieważ ówczesne pojazdy wyposażone w silniki spalinowe są równie ciche jak pojazdy elektryczne i, z wyjątkiem gwałtownego przyspieszania, hałas generowany przez toczące się po nawierzchni opony jest dominującym źródłem dźwięku już w zakresie prędkości 15-20 km/h.

Głównym celem międzynarodowego projektu *LEO – „Low Emission Optimised tyres and road surfaces for electric and hybrid vehicles”* [P8], w którego przygotowaniach i realizacji aktywnie uczestniczyłem, było ukazanie aktualnego stanu wiedzy dotyczącego nowych opon do samochodów osobowych i nawierzchni drogowych, które mają potencjał techniczny zarówno do zmniejszenia ilości emisji CO₂ ze względu na mniejsze zużycie energii dzięki zoptymalizowanemu oporowi toczenia, jak i do zmniejszenia emisji hałasu powstającego na styku opony z nawierzchnią – kombinacja opon opracowanych specjalnie dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych, wraz z cichymi nawierzchniami drogowymi, ma potencjał znacznego zmniejszenia negatywnego wpływu ruchu drogowego w warunkach miejskich poprzez synergiczną optymalizację. Biorąc udział w tym projekcie, w pierwszej fazie dokonałem przeglądu istniejących opon do elektrycznych i hybrydowych samochodów osobowych oraz nawierzchni drogowych, przeanalizowałem ich istotne cechy oraz właściwości i sporządziłem wyczerpujący raport ukazujący aktualny stan wiedzy w tej dziedzinie [C11]. W dalszej części projektu odpowiadałem za prowadzenie badań laboratoryjnych i drogowych hałasu opon i nawierzchni, jak również sam wykonywałem te badania (Rys. 14) i analizowałem uzyskane wyniki [C20]. Stwierdziłem, że opony dedykowane do samochodów elektrycznych i hybrydowych, za wyjątkiem szczególnie wąskich opon o bardzo niskim oporze toczenia, nie charakteryzują się mniejszą emisją hałasu od pozostałych badanych opon podobnych klas dostępnych na rynku europejskim [C14, C15]. Nie zaobserwowałem również zasadniczych różnic mierząc hałas przejeżdżających samochodów elektrycznych i hybrydowych (przy napędzie elektrycznym, spalinowym i mieszanym) w różnych warunkach (ze stałą prędkością, przyspieszając, hamując, poruszając się wybiegiem). W zależności od prędkości poruszania się pojazdu różnice mogą dochodzić do 3 dB, jednakże średnio wynoszą one tylko 0.5 dB [C20]. Uczestniczyłem także w opracowaniu studium wykonalności oraz analizie kosztów i korzyści wykazując potencjalną redukcję hałasu drogowego przy użyciu zoptymalizowanych opon i nawierzchni drogowych na poziomie 2-3 dB dla konwencjonalnych cichych nawierzchni oraz na poziomie 10-12 dB, wykorzystując nawierzchnię poroelastyczną. Szczegóły studium przedstawiłem w artykule w czasopiśmie wyróżnionym na liście JCR [C22] oraz w materiałach konferencyjnych [C18, C15].



Rys. 14. Pomiar hałasu samochodów elektrycznych i hybrydowych metodą CPB (Controlled Pass-By)

7 PODSUMOWANIE

7.1 OSIĄGNIĘCIA ZWIĄZANE Z GŁÓWNYM CELEM NAUKOWYM

Reasumując, mogę stwierdzić, że szczegółowe analizy wyników przeprowadzonych przeze mnie licznych eksperymentów naukowo-badawczych pozwoliły na wyznaczenie wielu istotnych zależności, które zostały uwzględnione w opracowanych w ramach prac Grup Roboczych ISO/TC 43/SC 1/WG 33 oraz ISO/TC 43/SC 1/WG 27 standardach dotyczących badania wpływu nawierzchni drogowych na hałas [S1, S2, S3, S4, S5]. Niektóre zaproponowane przeze mnie metody certyfikacji pojazdów testowych zostały wprost zaimplementowane w standardzie ISO 11819-2:2017 [S3], w formułowaniu innych miałem znaczący udział. Również zasady korekcji temperaturowej i twardościowej oraz wartości współczynników korekcyjnych podane w specyfikacjach technicznych ISO/TS 11819-3:2017 [S4] oraz ISO/TS 13471-1:2017 [S5] zostały przyjęte biorąc pod uwagę w bardzo dużej mierze rezultaty moich badań w tym zakresie. Moje publikacje [A11, A12, A13, B15] znalazły się wśród pozycji bibliograficznych standardów ISO [S4, S5].

Opracowane metody certyfikacyjne sprzętu zniwelowały różnice otrzymywanych wyników pomiarowych w zależności od wykorzystywanego sprzętu, a wprowadzone korekcje przyczyniły się do znacznego zwiększenia dokładności metody pomiarowej badania wpływu nawierzchni drogowych na hałas. Zostały one pozytywnie zweryfikowane zarówno poprzez przeprowadzone międzynarodowe Round Robin Testy, jak i w czasie licznych regularnych badań drogowych metodą CPX wykonywanych przez ośrodki badawcze w Europie.

Zaprojektowany przeze mnie system pomiarowy [O1] wraz z mojego autorstwa oprogramowaniem komputerowym do prowadzenia badań i gromadzenia danych pomiarowych hałasu opon samochodowych i nawierzchni drogowych metodą CPX, całkowicie zgodny z wymaganiami określonymi w normie ISO 11819-2:2017 [S3], znajduje się na wyposażeniu wszystkich czterech zbudowanych egzemplarzy przyczepy badawczej *Tiresonic Mk4*, które są z powodzeniem wykorzystywane przez ośrodki badawcze Politechniki Gdańskiej, Universidad de Castilla-La Mancha w Hiszpanii, Beijing University of Technology w Chinach oraz Instytutu Budowy Dróg i Mostów w Warszawie.

Program komputerowy mojego autorstwa „*Vehicle Noise Simulation*” do symulacji hałasu przejeżdżającego pojazdu [A3, O2, O3], umożliwiający symulację całkowitego hałasu poruszającego się pojazdu na podstawie uprzednio zmierzonych kierunkowych poziomów dźwięku lub charakterystyk widmowych poszczególnych źródeł – opon, silnika oraz układu wydechowego, był z powodzeniem wykorzystywany podczas prac nad normą ISO 11819-1:1997 [S1] do symulowania hałasu różnego rodzaju pojazdów i zespołów pojazdów o różnych gabarytach i wymiarach szczególnych poruszających się z różną prędkością w różnych odległościach od mikrofonu w celu sprawdzenia wpływu tych poszczególnych parametrów na

hałas całkowity poruszających się pojazdów. Będzie on wykorzystywany w najbliższym czasie do określenia wpływu ilości osi samochodów ciężarowych na hałas pojazdów mierzony metodą SPB podczas prowadzonych prac w ramach tej grupy nad aktualizacją tego standardu ISO. Był on również wykorzystywany podczas prac w ramach innych międzynarodowych projektów takich jak *HARMONOISE* – „*Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise*” [P2] czy „*Performance Based Standards for High Capacity Transports in Sweden*” [P9].

7.2 POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA

Poza głównym celem naukowym moje osiągnięcia naukowo-badawcze koncentrują się w trzech głównych obszarach: monitoringu hałasu miejskiego, cichych nawierzchni drogowe oraz hałasu emitowanego przez samochody elektryczne i hybrydowe.

Moje prace związane z systemem monitoringu hałasu miejskiego w Gdańsku na etapie jego budowy i uruchamiania dotyczyły testowania w warunkach naturalnych stacji monitoringu. Po jego pełnym uruchomieniu przeprowadziłem na podstawie zgromadzonych przez system danych pomiarowych praktyczną weryfikację sporządzonych dla miasta Gdańska map akustycznych [C4] i wykazałem występowanie znaczących różnic wywodzących się zarówno z niedoskonałości metod modelowania map hałasu oraz problemów z dostępnością danych wejściowych, jak również z dynamicznymi zmianami w infrastrukturze miasta oraz zmianami w potokach i natężeniu ruchu drogowego.

W obszarze badawczo-naukowym dotyczącym cichych nawierzchni drogowych, biorąc udział w projekcie 5-go Programu Ramowego Unii Europejskiej *SILVIA* [P3], uczestniczyłem w formułowaniu wniosków i wytycznych dotyczących właściwości akustycznych nawierzchni drogowych zawartych w raporcie końcowym projektu – *Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces* [C1]. Raport służy pomocą zarówno producentom nawierzchni jak i administracjom drogowym decydującym o wyborze i zlecającym układanie poszczególnych typów nawierzchni. Rezultatem moich prac było również opracowanie zaakceptowanej procedury kwalifikacji i nadawania etykiet nawierzchniom oceniając ich właściwości akustyczne.

Uczestnicząc w projekcie 7-go Programu Ramowego Unii Europejskiej *PERSUADE* [P6] pracowałem nad rozwojem nawierzchni poroelastycznych. Określiłem, że stosując nawierzchnię poroelastyczną można uzyskać redukcję hałasu aż do 12 dB w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej zarówno dla samochodów osobowych jak i ciężarowych [C12]. Stwierdziłem również, że nie występują istotne różnice pomiędzy pomiarami laboratoryjnymi i drogowymi dla tej nawierzchni oraz wyznaczyłem dla niej temperaturowe współczynniki korekcyjne [C23].

Pracując jako kierownik strony polskiej oraz jednocześnie główny wykonawca w ramach kilkunastu międzynarodowych projektów [P11] zajmowałem się dostosowywaniem parametrów technicznych produkcji oraz technologii układania konwencjonalnych nawierzchni porowatych do warunków klimatycznych i drogowych panujących w krajach skandynawskich [C6, C5, C17] i w wyniku prac udało się opracować bardzo dobrą dwuwarstwową nawierzchnię porowatą dostosowaną do tych trudnych warunków [C13].

Od samego początku uczestniczyłem w rozwoju cichych nawierzchni drogowych w Polsce i pomagałem producentom nawierzchni w rozwoju i doskonaleniu ich produktów prowadząc badania, wskazując wykryte zależności oraz ewentualne błędy wykonawcze. Prace wykonywałem w zdecydowanej większości na zlecenie firm produkujących i układających nawierzchnie drogowe [P12], ale również na zlecenie inwestorów pomagając im kontrolować jakość akustyczną nawierzchni „odbieranych” od wykonawców. Prowadziłem i nadal prowadzę także działalność ekspercką sporządzając opinie techniczne i konsultując projekty dotyczące nawierzchni drogowych zarówno w technologii asfaltowej jak i betonowej. Uczestniczyłem z głosem doradczym podczas posiedzenia sejmowej Komisji Infrastruktury sejmu VII kadencji w 2015 roku.

Zajmowałem się także problematyką wpływu starzenia się nawierzchni na jej hałaśliwość prowadząc monitoring właściwości akustycznych wszystkich typów nawierzchni drogowych zarówno dla warstw ścieralnych układanych w Polsce [P12] jak i w innych krajach Unii Europejskiej [P11]. Formułowałem wnioski i zalecenia zarówno dla producentów nawierzchni jak i administracji drogowych decydujących i zlecających układanie poszczególnych typów nawierzchni.

Moim osiągnięciem w obszarze hałasu emitowanego przez samochody elektryczne i hybrydowe jest wykazanie na podstawie prac w ramach międzynarodowych projektów *EcoDriving* [P1] oraz *VENOM* [P4], że nie ma potrzeby montowania dodatkowych urządzeń wysyłających sygnały ostrzegawcze w pojazdach elektrycznych, ponieważ pojazdy wyposażone w silniki spalinowe są równie ciche jak pojazdy elektryczne [C3].

Biorąc aktywny udział w przygotowaniach i realizacji międzynarodowego projektu *LEO* [P8] sporządziłem wyczerpujący raport ukazujący aktualny stan wiedzy dotyczącej istniejących opon do elektrycznych i hybrydowych samochodów osobowych oraz cichych nawierzchni drogowych [C11]. Stwierdziłem, że opony dedykowane do samochodów elektrycznych i hybrydowych, za wyjątkiem szczególnie wąskich opon o bardzo niskim oporze toczenia, nie charakteryzują się mniejszą emisją hałasu od pozostałych opon [C14, C15], jak również, że samochody elektryczne i hybrydowe nie są zasadniczo cichsze od pojazdów z silnikami spalinowymi. Opracowałem także studium wykonalności oraz analizę kosztów i korzyści wykazujące potencjalną redukcję hałasu drogowego przy użyciu zoptymalizowanych opon i nawierzchni drogowych na poziomie

2-3 dB dla konwencjonalnych cichych nawierzchni oraz na poziomie 10-12 dB, wykorzystując nawierzchnię poroelastyczną [C22, C18, C15].

8 ZESTAWIENIE PUBLIKACJI

W celu usystematyzowania publikacji mojego autorstwa bądź współautorstwa cytowanych w niniejszym autoreferacie (zestawienie moich wszystkich publikacji znajduje się w *Wykazie dorobku habilitacyjnego* – Załącznik 4) przypisałem poszczególnym pozycjom określone wyróżniki. Publikacje związane z moim głównym osiągnięciem naukowym oznaczyłem wyróżnikiem **B**, natomiast sporządzone instrukcje obsługi moich osiągnięć projektowych i konstrukcyjnych (systemu pomiarowego i programu komputerowego) – wyróżnikiem **O**. Standardom ISO związanym bezpośrednio z moim głównym osiągnięciem naukowym został przypisany wyróżnik **S**. Moje publikacje dotyczące pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych oznaczyłem wyróżnikiem **C**. Natomiast międzynarodowe i krajowe projekty badawczo-rozwojowe, w których brałem czynny udział, zostały oznaczone wyróżnikiem **P**. Zestawienie publikacji zostało sporządzone w porządku chronologicznym.

8.1 PUBLIKACJE ZWIĄZANE Z MOIM GŁÓWNYM OSIĄGNIĘCIEM NAUKOWYM

- B1** Ejsmont J., Mioduszeowski P.: *Influence of ambient temperature on tire/road noise when measuring with the drum method*. Research Report no 94.1, Gdańsk: Tech. Univ. Gdańsk. Mech. Faculty., 1994, ISO/TC 43/SC 1/WG 27 N 110, ISO/TC 43/SC 1/WG 33 N 50
- B2** Mioduszeowski P., Ejsmont J.: *Temperature effect on tire/road noise*. V Polsko-Niemieckie Sympozjum "Nauka dla praktyki". V Polnisch-Deutsches Symposium "Wissenschaft fur die Praxis", Gdańsk, 27 października 1994
- B3** Ejsmont J., Taryma S., Mioduszeowski P., Woźniak R., Wilga M.: *Rozkład temperatury na zewnętrznej powierzchni opony samochodowej będącej w ruchu*. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Pojazdy samochodowe. Problemy rozwoju i eksploatacji. AUTOPROGRES'95”, Jachranka, 17-19 maj 1995
- B4** Ejsmont J., Mioduszeowski P., Taryma S., Sandberg U.: *Rim influence on tyre/road noise*. VTI Notat nr 29, 1996, Linkoping, Sweden
- B5** Mioduszeowski P., Taryma S.: *Interior and exterior tire/road noise generated by tires with directional tread pattern rolled in both directions*. VTI Konferens nr 8A, 1997, Linkoping, Sweden
- B6** Mioduszeowski P., Ejsmont J., Taryma S., Dong M., Sandberg U.: *Results from the experiment to study possible differences between left and right sides of the test tyres used in the CPX test*. VTI publications, Linkoping, 1999, ISO/TC 43/SC 1/WG 33 N 115

- B7** Mioduszeowski P.: *Wpływ prędkości na hałas opon samochodowych*, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „POJAZD A ŚRODOWISKO” Jedlnia-Letnisko 12-13.06.2003
- B8** Roovers C., Blokland G., Mioduszeowski P., Ejsmont J.: *The SilVia round-robin test on measurement devices for road surface acoustics*. Proceedings of Inter-Noise 2004. Prague, Czech Republic, 22-25 August 2004
- B9** Woźniak R., Mioduszeowski P., Taryma S., Ronowski G.: *Badania właściwości akustycznych komór semi-bezechowych przyczep do badania hałasu opon: Tiresonic Mk2, Tiresonic Mk3 oraz Slipsonic*. V Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Pojazd a Środowisko. Jedlnia-Letnisko, 13-15 czerwca 2005
- B10** Mioduszeowski P., Gardziejczyk W., Wisiołek M.: *Repeatability and reproducibility of CPX round robin test.*, Report SILVIA-TUG-007-04-WP2-120505, Project SILVIA “Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control”, Belgia, 2005
- B11** Mioduszeowski P., Ejsmont J.: *Tire noise emission directivity for tires and pavements*. Proceedings Inter-Noise 2006, Honolulu, Hawaii, USA, 3-6 December 2006
- B12** Ejsmont J., Mioduszeowski P.: *Certification of vehicles used for Close Proximity Measurements of tire/pavement noise*. Proceedings of Inter-Noise 2006, Honolulu, Hawaii, USA, 3-6 December 2006
- B13** Woźniak R., Taryma S., Mioduszeowski P.: *Tire camber angle influence on tire-pavement noise*. Proceedings of Inter-Noise 2012, New York, USA, 19-22 August 2012
- B14** Mioduszeowski P.: *Pomiary hałasu drogowego*. Magazyn Autostrady, nr 11-12, 2014
- B15** Sandberg U., Mioduszeowski P.: *Deliverable D2.2: Temperature influence on measurements of noise properties of road surfaces and possible normalization to a reference temperature*. ROSANNE_WP2_Deliverable D2.2_v2.0_2015-06-25, Project ROSANNE “Rolling resistance, Skid resistance, AND Noise Emission measurement standards for road surfaces”, Austria, 2015
- B16** Mioduszeowski P., Taryma S., Woźniak R.: *Temperature influence on tyre/road noise frequency spectra*. Proceedings of Inter-Noise 2016, Hamburg, Germany, 21-24 August 2016
- B17** Sandberg U., Bühlmann E., Conter M., Mioduszeowski P., Wehr R.: *Improving the CPX method by specifying reference tyres and including corrections for rubber hardness and temperature*. Proceedings of Inter-Noise 2016, Hamburg, Germany, 21-24 August 2016
- B18** Sandberg U., Kharrazi S., Mioduszeowski P.: *Comparison of noise emission of HCT and classic vehicle combinations for timber transportation in Sweden*. Proceedings of HVT15 Rotterdam, the Netherlands, 2-5 October 2018 (w druku)

8.2 INSTRUKCJE OBSŁUGI SYSTEMU POMIAROWEGO I PROGRAMU KOMPUTEROWEGO - MOICH OSIĄGNIĘĆ PROJEKTOWYCH I KONSTRUKCYJNYCH

- O1** Mioduszeowski P.: *Measuring and data acquisition system of the Tiresonic Mk4 CPX trailer. Version 5.3. OWNERS MANUAL*. Gdańsk, Poland, 15 November 2010
- O2** Mioduszeowski P.: *Vehicle Noise Simulation - Computer Program version 2.0. USER MANUAL*. Research Report, Politechnika Gdańska, Gdańsk, Poland, 1995
- O3** Mioduszeowski P.: *Vehicle Noise Simulation - Computer Program version 2017.2. USER MANUAL*. Research Report, Politechnika Gdańska, Gdańsk, Poland, February 2017

8.3 STANDARDY ISO ZWIĄZANE BEZPOŚREDNIO Z MOIM GŁÓWNYM OSIĄGNIĘCIEM NAUKOWYM

- S1** International Organization for Standardization (ISO): *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method*, ISO 11819-1:1997, Geneva, Switzerland, 1997
- S2** International Organization for Standardization (ISO): *Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 4: SPB method using backing board*, ISO/PAS 11819-4:2013, Geneva, Switzerland, 2013
- S3** International Organization for Standardization (ISO): *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method*, ISO 11819-2:2017, Geneva, Switzerland, 2017
- S4** International Organization for Standardization (ISO): *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference tyres*, ISO/TS 11819-3:2017, Geneva, Switzerland, 2017
- S5** International Organization for Standardization (ISO): *Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method*, ISO/TS 13471-1:2017, Geneva, Switzerland, 2017

8.4 PUBLIKACJE DOTYCZĄCE MOICH POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

- C1** Abbot P., Andersen B., Anfosso-Ledee F., Bendtsen H., van Blokland G., Descornet G., Eijbersen M., Ejsmont J., Haberl J., Hamet J.-F., Mioduszeowski P., Nilson R., Padmos C., Pucher E., Roovers C., Sandberg U., Sliwa N., Veisten K., van Viet W.J., Watts G.: *Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces*. FEHRL Report 2006/02; EU Fifth Framework Project SILVIA - Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control, ISSN 1362-6019, ISBN 90-9020404-0/978-90-9020404-8, Belgia, 2006 (**monografia**)
- C2** Mioduszeowski P.: *Noise emission directivity of a slow moving vehicle*. Proceedings of ICSV 16, Kraków, Poland, 5-9 July 2009

- C3** Sandberg U., Goubert L., Mioduszeowski P.: *Are vehicles driven in electric mode so quiet that they need acoustic warning signals?* Proceedings of ICA 2010, Sydney, Australia, 23-27 August 2010
- C4** Mioduszeowski P., Ejsmont J.A., Grabowski J., Karpiński D.: *Noise map validation by continuous noise monitoring*. Applied Acoustics Vol. 72, July 2011 (**artykuł JCR**)
- C5** Sandberg U., Mioduszeowski P.: *The importance for noise reduction of the bottom layer in double-layer porous asphalt*. Proceedings of Acoustics 2012, Hong Kong, 13-18 May 2012
- C6** Sandberg U., Mioduszeowski P.: *Gaining extra noise reduction and lower rolling resistance by grinding a porous asphalt pavement*. Proceedings of Inter-Noise 2012, New York, USA, 19-22 August 2012
- C7** Mioduszeowski P., Taryma S., Karpiński D., Grabowski J.: *The use of continuous noise monitoring system as a validation method for strategic noise map prepared for the city of Gdansk in Poland*. Proceedings of Inter-Noise 2012, New York, USA, 19-22 August 2012
- C8** Mioduszeowski P.: *Low noise pavements in Poland*. Proceedings of Inter-Noise 2012, New York, USA, 19-22 August 2012
- C9** Mioduszeowski P., Gardziejczyk W.: *Noise measurements on low noise pavements - problems with inhomogeneity of wearing course*. Proceedings of Inter-Noise 2013, Innsbruck, Austria, 15-18 September 2013
- C10** Mioduszeowski P.: *Przegląd hałaśliwości nawierzchni drogowych w Polsce i w innych krajach Unii Europejskiej*. Metody ochrony środowiska przed hałasem - teoria i praktyka. Ed. Janusz Bohatkiewicz, ISBN 839260797X, 9788392607977. Zakopane: Portal drogowy Edroga.pl - Wydawnictwo EKKOM Kraków, Poland, 2013 (**rozdział w monografii**)
- C11** Mioduszeowski P.: *State-of-the-Art Report*, Deliverable WP2: LEO-TUG-WP2-D001-20131231, Project LEO "Low Emission Optimised tyres and road surfaces for electric and hybrid vehicles", Poland, 2013
- C12** Ejsmont J.A., Sandberg U., Świeczko-Żurek B., Mioduszeowski P.: *Tyre/road noise reduction by a poroelastic road surface*. Proceedings of Inter-Noise 2014, Melbourne, Australia, 16-19 November 2014
- C13** Sandberg U., Mioduszeowski P.: *The best porous asphalt pavement in Sweden so far*. Proceedings of Inter-Noise 2014, Melbourne, Australia, 16-19 November 2014
- C14** Ejsmont J.A., Świeczko-Żurek B., Taryma S., Mioduszeowski P.: *Noise Generated by Tyres Designed for Electric Vehicles - Results of Laboratory Experiments*. Proceedings of Euronoise 2015, EAA-NAG-ABAV, Maastricht, the Netherlands, 31 May - 3 June 2015
- C15** Berge T., Haukland F., Mioduszeowski P., Woźniak R.: *Tyre/road noise of passenger car tyres, including tyres for electric vehicles - road measurements*. Proceedings of Euronoise 2015, EAA-NAG-ABAV, Maastricht, the Netherlands, 31 May - 3 June 2015

- C16** Ejsmont J.A., Mioduszeowski P., Ronowski G., Taryma S., Świeczko-Żurek B.: *Final report on noise and rolling resistance*, Deliverable WP2: PERSUADE-TUG-D63-V02-WP6-150707, Project PERSUADE "PoroElastic Road Surface: an innovation to Avoid Damages to the Environment", Belgia, 2015
- C17** Sandberg U., Mioduszeowski P.: *Reduction of noise and rolling resistance by horizontal grinding of asphalt pavements*. Proceedings of Inter-Noise 2015, San Francisco, California, USA, 9-12 August 2015
- C18** Berge T., Mioduszeowski P.: *Potential reduction of traffic noise by the means of increased fleet of electric vehicles using a combination of low-noise tyres and low-noise road surfaces*. Proceedings of BNAM 2016, Stockholm, Sweden, 20-22 June 2016
- C19** Mioduszeowski P., Gardziejczyk W.: *Inhomogeneity of low-noise wearing courses evaluated by tire/road noise measurements using the close-proximity method*. Applied Acoustics Vol. 111, October 2016 (**artykuł JCR**)
- C20** Berge T., Mioduszeowski P., Ejsmont J.A.: *Final Report of Noise Measurements*, Deliverable WP3: LEO-TUG-WP3-D002-20161228, Project LEO "Low Emission Optimised tyres and road surfaces for electric and hybrid vehicles", Poland, 2016
- C21** Mioduszeowski P., Kowalski K.J.: *Pavement ageing influence on tyre/road noise*. Proceedings of Inter-Noise 2017, Hong Kong, 27-30 August 2017
- C22** Berge T., Mioduszeowski P., Ejsmont J.A., Świeczko-Żurek B.: *Reduction of road traffic noise by source measures — present and future strategies*. Noise Control Eng. J. 65 (6), November-December 2017 (**artykuł JCR**)
- C23** Mioduszeowski P., Taryma S., Woźniak R.: *Temperature influence on tyre/road noise on poroelastic road surface based on laboratory measurements*. Proceedings of Euronoise 2018, Crete, Greece, 27-31 May 2018

8.5 MIĘDZYNARODOWE I KRAJOWE PROJEKTY BADAWCZO-ROZWOJOWE

- P1** EcoDriving – „*Influence of EcoDriving on Noise Emissions*” projekt finansowany przez Swedish Road Administration (SRA) zakończony w roku 2001
- P2** HARMONOISE – „*Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of Environmental Noise*” EU FP5 IST-2000-28419, projekt 5-go Programu Ramowego Unii Europejskiej realizowany w latach 2001-2004
- P3** SILVIA – „*Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control*” EU FP5-GROWTH GRD2/31801/2000, projekt 5-go Programu Ramowego Unii Europejskiej realizowany w latach 2002-2005
- P4** VENOM – „*Development of Vehicle Noise Model VENOM*” projekt finansowany przez Swedish Road Administration (SRA) oraz Swedish Agency for Innovation Systems

- (VINNOVA), a także ze środków działalności statutowej Politechniki Gdańskiej, zakończony w roku 2005
- P5** IMAGINE – „*Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment*” EU FP6-POLICIES 503549, projekt 6-go Programu Ramowego Unii Europejskiej realizowany w latach 2003-2006
- P6** PERSUADE – „*PoroElastic Road SURface: an innovation to Avoid Damages to the Environment*” EU FP7-ENVIRONMENT 226313, projekt 7-go Programu Ramowego Unii Europejskiej realizowany w latach 2009-2015
- P7** ROSANNE – „*ROLLing resistance, Skid resistance, ANd Noise Emission measurement standards for road surfaces*” EU FP7-TRANSPORT 605368, projekt 7-go Programu Ramowego Unii Europejskiej realizowany w latach 2013-2016
- P8** LEO – „*Low Emission Optimised tyres and road surfaces for electric and hybrid vehicles*” Proposal No. 196195, NCBiR decision No 87/201387/2013, projekt Polish – Norwegian Research Cooperation Programme realizowany w latach 2013-2016
- P9** „*Performance Based Standards for High Capacity Transports in Sweden*” projekt nr 2013-03881 finansowany przez Swedish Innovation Agency VINNOVA realizowany w latach 2013-2016
- P10** SEPOR – „*Bezpieczna, proekologiczna poroelastyczna nawierzchnia drogowa*” projekt nr 347040, decyzja NCBiR nr DZP/TECHMASTRATEG-I/141/2018, projekt programu „Nowoczesne technologie materiałowe – TECHMATSTRATEG” Narodowego Centrum Badań i Rozwoju realizowany w latach 2018-2021
- P11** Międzynarodowe projekty (BZ) dotyczące wpływu nawierzchni drogowych na hałas komunikacyjny zawarte z VTI Szwecja, VINNOVA Szwecja, DRD Dania, BASt Niemcy, M+P Holandia, NCC Szwecja, STA Szwecja, Svevia AB Szwecja, HTC AB Szwecja, Techconsult Węgry, Apollo Vredestein Holandia finansowane przez te instytucje/firmy realizowane na przestrzeni lat 2000-2018
- P12** Krajowe projekty (BZ) dotyczące wpływu nawierzchni drogowych na hałas komunikacyjny zawarte z Colas, TPA, Strabag, Skanska, Mostostal-Warszawa, Energopol-Szczecin, IBDiM, LOTOS Asfalt, Pizzarotti, PORR Polska, PSWNA finansowane przez te instytucje/firmy realizowane na przestrzeni lat 2000-2018



dr inż. Piotr Mioduszeński