

prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrucki
ul. Olsztyńska 36
51-423 Wrocław
tel. 609 226 785
e-mail: andrzej.dobrucki@pwr.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Pauli PIETRZAK
pt. „OCENA EKSPOZYCJI MUZYKÓW NA DŹWIĘK Z WYKORZYSTANIEM DWUKANAŁOWEJ
DOZYMETRII HAŁASOWEJ”

Podstawą wykonania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny „Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika” Politechniki Warszawskiej podjęta w dniu 17.11.2020.

Przewód doktorski mgr inż. Agnieszki Pietrzak został wszczęty przed 30.04.2019 w dyscyplinie „Elektronika”. Obecnie dyscyplina ta nie istnieje, a tematyka z nią związana wchodzi w skład dyscypliny „Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika”. Tematyka rozprawy doktorskiej mieści się w ramach tej dyscypliny, chociaż rozprawa ma charakter interdyscyplinarny. Oprócz zagadnień związanych z metrologią hałasu, ma ona związek z zagadnieniami ochrony słuchu przed hałasem. Temat rozprawy dotyczy zastosowania dwukanałowej dozymetrii hałasowej do oceny ekspozycji zawodowych muzyków na dźwięk, podczas wykonywania przez nich swojej pracy. Powszechnie uważa się, że niebezpieczeństwo powstania ubytków słuchu związanych z przebywaniem w hałasie dotyczy pracowników zatrudnionych w przemyśle, transporcie i w innych zawodach, w których występuje hałas wytwarzany przez maszyny i urządzenia niejako ubocznie. Hałas taki jest uciążliwy dla pracowników i osób postronnych. Już dawno jednak zostało udowodnione, że narażenie na ubytki słuchu jest związane z długotrwałym przebywaniem w otoczeniu, w którym panuje wysoki poziom dźwięku, niezależnie od źródła jego pochodzenia. Narażenie takie występuje zarówno podczas wykonywania zawodów takich jak właśnie muzycy, reżyserzy i inżynierowie dźwięku w stacjach radiowych i telewizyjnych, w teatrach, podczas nagrywania koncertów itd., ale też wśród amatorów słuchania głośnej muzyki, zwłaszcza za pośrednictwem słuchawek. Na przestrzeni ostatnich lat tematyka narażenia na hałas związany z głośną muzyką była przedmiotem badań w wielu ośrodkach. Temat rozprawy jest więc aktualny i społecznie ważny.

Rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Pietrzak liczy 111 stron. Jest ona podzielona na 9 rozdziałów, z których pierwszy jest wstępem wprowadzającym w tematykę rozprawy, a ostatni jej podsumowaniem. Rozprawa zawiera 38 rysunków i 10 tabel. Na końcu rozprawy znajduje się wykaz literatury obejmujący 106 pozycji, wśród których doliczyłem się 4 pozycje Autorki: 1 samodzielny artykuł w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, oraz 3



współautorskie prace, które ukazały się w materiałach konferencyjnych (1 po polsku, trzy po angielsku). Spis ułożony jest w kolejności cytowania poszczególnych pozycji. Taki sposób cytowania właściwy jest bardziej w artykułach naukowych, w rozprawach o charakterze monograficznym preferowana jest kolejność alfabetyczna.

Drugi po wstępie rozdział ma charakter formalny. Znajdują się w nim definicje wielkości mierzonych oraz miar narażenia na hałas. Jest to rozdział napisany w oparciu o normy, krótki, ale przydatny przy czytaniu rozprawy. W rozdziale 3 znajduje się przegląd literatury przedmiotu. Jest on podzielony na 3 części dotyczące odrębnych zagadnień będących przedmiotem rozprawy: poziomów dźwięku i poziomów ekspozycji na hałas, dozymetrii hałasowej oraz międzysusznej asymetrii ekspozycji na dźwięk, która odgrywa dużą rolę właśnie w przypadku muzyków. Przegląd literatury świadczy o dobrym rozeznaniu Doktorantki w obecnych trendach badań nad narażeniem muzyków na nadmierny poziom dźwięku. Muszę jednak dodać, że problematyką narażenia na hałas muzyków grających w orkiestrach zajmował się też dr Krzysztof Rudno-Rudziński z ośrodka wrocławskiego. Jego prace: artykuł "Noise exposure of orchestra members measurement uncertainty related to sampling", *Archives of Acoustics*, 32, 2, 361–366 (2007) i referat konferencyjny "Noise exposure prediction for musicians", *Proc. of the 12-th International Congress on Sound and Vibration*, Lisbon, 2005 zostały najwyraźniej przeoczone przez Autorkę, a dotyczą one bezpośrednio tematu rozprawy. W rozdziale 4 podane są regulacje prawne dotyczące narażeń pracowników na hałas i metod ich oceny. Cel, teza i zakres pracy są przedstawione w rozdziale 5. Teza pracy sformułowana jest następująco: „Dwukanałowa dozymetria hałasowa obejmująca wszystkie zajęcia zawodowe wykonywane przez muzyka w ciągu dnia umożliwia miarodajne – z punktu widzenia identyfikacji zagrożeń słuchu – oszacowanie ekspozycji na dźwięki oraz międzysusznej asymetrii na dźwięk”. Teza jest sformułowana prawidłowo i jest istotna naukowo. Zwykle w środowisku pracy stosuje się dozymetrię jednokanałową, ponieważ niesymetryczne narażenie na hałas występuje rzadko. W przypadku muzyków grających na instrumentach jest inaczej i na tym polega istota naukowego charakteru tezy rozprawy (oraz samej rozprawy). Z tezą rozprawy związane są dwa zasadnicze jej cele: ilościowego określenia narażenia muzyków, zarówno grających solo jak i w zespołach, na hałas podczas wykonywania prac związanych z zawodem oraz określenie asymetrii narażenia słuchu w zależności od instrumentu.

Kolejny, 6 rozdział jest najobszerniejszy w całej rozprawie. Obejmuje on badania własne Autorki nad ekspozycją muzyków na nadmierny poziom dźwięku podczas wykonywania przez nich codziennych zajęć zawodowych. Badania przeprowadzono na grupie studentów Uniwersytetu Muzycznego Fryderyka Chopina (UMFC), studiujących na kierunku instrumentalnym i grających na różnych instrumentach. Stwierdzono, że aktywność studentów jest zbliżona do aktywności zawodowej profesjonalnych muzyków. Ich aktywność nie ogranicza się do ćwiczeń, ale grają oni również w zespołach kameralnych, w orkiestrach symfonicznych i dętych, a także w zespołach jazzowych (big band). Pomiary przeprowadzono metodą dozymetrii dwukanałowej. W tym celu aktywność rejestrowano rejestrowano za pomocą 2 mikrofonów umieszczonych w pobliżu lewego i prawego ucha. Pewien wyjątek stanowiły takie instrumenty jak altówka, skrzypce puzon i harfa, dla których takie usytuowanie mikrofonów ograniczałoby naturalny sposób gry. W przypadku tych

instrumentów mikrofony mocowano z tyłu ramienia. Autorka zdaje sobie sprawę z niebezpieczeństwa zafałszowania wyników pomiarów, ponieważ mikrofony znajdowały się bliżej instrumentu niż ucha i rejestrowany poziom ekspozycji mógł być zawyżony. Niemniej jednak metodyka mocowania mikrofonu jest podobna, jak w przeprowadzonych doświadczeniach opisanych w literaturze i należy ją znać za poprawną. Jeśli Autorka będzie kontynuowała badania na ten temat, to proponuję rozważyć rejestrację dźwięku za pomocą miniaturowych mikrofonów umieszczonych w kanale usznym. Ten sposób jest stosowany np. w pomiarach słuchawek. Badania zasadniczo dotyczyły dwóch zagadnień: narażenia słuchaczy na zbyt wysokie poziomy dźwięku podczas aktywności zawodowej oraz międzysusznej asymetrii tych narażeń. Przy badaniu narażenia na zbyt wysoki poziom dźwięku, przeprowadzono analizę rozkładu czasowego zebranego materiału z podziałem na rodzaje aktywności: ćwiczenia indywidualne, gra w zespole kameralnym, w orkiestrze symfonicznej, orkiestrze dętej oraz w big bandzie, a także z podziałem na rodzaj instrumentu. Ogółem otrzymano prawie 174 godzin nagrań dla 27 osób badanych. Rozkład czasu pomiędzy rodzajami aktywności i liczbą osób był bardzo nierównomierny. W niektórych przypadkach czas rejestracji był moim zdaniem zbyt krótki, aby można było mówić o reprezentatywności wyników. Na przykład dla ćwiczeń indywidualnych z altówką było to tylko 0,7 godziny, czyli 42 minuty, a wnioski akurat dla tego przypadku są bardzo daleko idące. Poza tym brak jest analizy granego materiału muzycznego mógł on obejmować ogólnie utwory ciche i bardzo głośne, grane na tym samym instrumencie w różnych rodzajach aktywności. Pierwsze badanie dotyczyło ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnej doby pracy. Ta wielkość jest powszechnie wykorzystywana do badań narażeń na hałas pracowników w innych zawodach. Graniczna wartość poziomu ekspozycyjnego ważonego charakterystyką częstotliwościową A (tzw. poziom A) odniesionego do 8-godzinnej doby pracy wynosi 85 dB. Gdy poziom jest mniejszy, przyjmuje się, że nie jest on niebezpieczny i nie ma potrzeby podejmowania działań zmierzających do jego ograniczenia. Gdy poziom ekspozycyjny A jest większy niż 85 dB, należy podejmować działania w kierunku jego ograniczenia, bądź to metodami technicznymi, np. wymiana bądź modernizacja sprzętu, bądź organizacyjnymi - przenoszenie pracownika do pracy w cichszym otoczeniu. W przypadku muzyków, jeśli takie narażenia wystąpią, żadna z tych metod ze względów oczywistych nie chodzi w grę. W pracy Agnieszki Pietrzak, podobnie zresztą jak w pracach innych Autorów, chodzi o postawienie diagnozy. Pomiary pogrupowano w zależności od instrumentu. Autorka ustaliła, że przekroczenie poziomu A równego 85 dB wystąpiło aż w 74 % zbadanych przypadków. Badania Autorki dowiodły, że wyniki poziomu ekspozycyjnego przedstawiane w literaturze, które były uzyskiwane nie bezpośrednio poprzez pomiar, lecz na podstawie analizy aktywności dziennej muzyków są zdecydowanie niedoszacowane.

Drugim badaniem przeprowadzonym przez Doktorantkę były pomiary poziomu równoważnego A. W tabelach 4-7 przedstawiono wyniki badań dla poszczególnych rodzajów aktywności w zależności od instrumentu oraz osobno dla ucha lewego i prawego. Zmierzone wartości poziomów były czasem bardzo znaczne. Poziom równoważny podczas ćwiczeń indywidualnych z altówką wyniósł aż 103,5 dB (przy uchu lewym) a dla fletu 104,9 dB - 104,9 dB (przy uchu prawym). Poziomy te oznaczają, że muzyk może spędzić na tego rodzaju aktywności najwyżej kilka minut dziennie. Ciekawym wnioskiem wynikającym z pracy jest

fakt, że dla tych i wielu innych instrumentów największe przekroczenia występują właśnie podczas prób indywidualnych, a nie podczas gry w zespołach, gdzie przecież oprócz instrumentu danego muzyka jest on narażony też na dźwięk pochodzący od innych instrumentów. Autorka tłumaczy to dostosowaniem się muzyka do ogólnej dynamiki odgrywanego utworu podczas gry w zespole, podczas gdy przy ćwiczeniach indywidualnych takiego ograniczenia nie ma. Drugim powodem może być to, że gra w zespole odbywa się w większych salach odpowiednio adaptowanych akustycznie, a ćwiczenia odbywają się często w małych, słabo wytłumionych pomieszczeniach. Są jednak instrumenty, dla których ekspozycja podczas gry w zespole jest większa niż podczas prób. W tabelach podano też wartości średnie poziomów dla wszystkich instrumentów. Moim zdaniem nie ma to większego sensu, bo nie bardzo wiem, jak taką wartość średnią interpretować. Ogólnie jednak, największa rozpiętość poziomów występuje właśnie dla ćwiczeń indywidualnych, zaś poziom narażenia ma tendencję do zmniejszania się w miarę wzrostu liczby muzyków w zespole. Autorka przeprowadziła też analizę rozkładów skumulowanych poziomu równoważnego obliczanego w jednosekundowych przedziałów czasu w zależności od instrumentu, rodzaju aktywności oraz ucha lewego i prawego. Analiza ta pozwala na określenie, dla których instrumentów i których rodzajów aktywności występuje nierównomierne obciążenie jednego lub drugiego ucha. Takie bardzo nierównomierne obciążenie hałasem występuje dla altówki i skrzypiec (bardziej obciążone ucho lewe) oraz harfy (bardziej obciążone ucho prawe). Wnioski te zostały potwierdzone przez kolejną analizę - międzyusznej asymetrii ekspozycji na dźwięk. Tu znowu największa asymetria wystąpiła w przypadku altówki, skrzypiec i harfy, zwłaszcza podczas prób indywidualnych. Bardzo ciekawa analiza dotyczy zależności asymetrii ekspozycji na dźwięk dla różnych aktywności i różnych instrumentów w zależności od poziomu równoważnego. Analiza ta wykazała, że dla wymienionych instrumentów: altówki, skrzypiec i harfy, ta asymetria rośnie wraz z wartością poziomu. Do grupy instrumentów silnie obciążających ucho prawe dla dużych poziomów doszedł w tym badaniu flet. Dla innych instrumentów asymetria, jeśli wystąpiła, była znacznie mniejsza. Te wyniki uznaję za duże, oryginalne osiągnięcie Autorki. Ostatnim badaniem przedstawionym w rozdziale 6 było zbadanie widm poszczególnych instrumentów oraz ich wpływ na obciążenie hałasem i międzyuszną asymetrię tego obciążenia. Zmierzono widma poszczególnych instrumentów jako wartości poziomów równoważnych w pasmach 1/3 oktawowych bez korekcji częstotliwościowej dla różnych rodzajów aktywności. Stwierdzono, że maksima poziomów widma pokrywają się ze skalą poszczególnych instrumentów. Różnice poziomów widma dla gry zespołowej w stosunku do widma podczas gry indywidualnej świadczą o wpływie innych instrumentów. Różnice takie występują np. dla trąbki podczas gry w big bandzie w zakresie małych częstotliwości, dla kontrabasu też podczas gry w big bandzie, lecz szerokopasmowo, dla skrzypiec w zakresie małych częstotliwości w orkiestrze symfonicznej i dla harfy w zakresie dużych częstotliwości w orkiestrze symfonicznej. Badania asymetrii ekspozycji pokazały, że lewostronna asymetria dla skrzypiec ma charakter wysokoczęstotliwościowy dla wszystkich rodzajów aktywności, zaś dla altówki ma ona charakter szerokopasmowy, zwłaszcza dla ćwiczeń indywidualnych. Dla harfy silna prawostronna asymetria występuje w zakresie średnich częstotliwości dla ćwiczeń indywidualnych.

Badania opisane w rozdziale 6 dotyczyły sytuacji rzeczywistych, występujących w praktyce. Badania prowadzone według tej metodyki były narażone na zakłócenia, nie uwzględniano w nich też zmiennych warunków przeprowadzenia pomiarów. W rozdziale 7 przedstawiono wyniki badań ekspozycji na dźwięk pojedynczego (własnego) instrumentu przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych - ściśle kontrolowanych. Pomiar przeprowadzono w warunkach pola swobodnego, w komorze bezdechowej. Grupa badawcza była inna niż w eksperymentach poprzednich. Materiał muzyczny dobrano w ten sposób, aby dla wszystkich mierzonych instrumentów był on podobny. Materiał był podzielony na cztery grupy: rozgrywanie, dźwięk strojenia instrumentu, dźwięki w pełnej skali od piano do fortissimo, oraz trwający ok. 5 minut fragment utworu. Mierzono ekspozycję na dźwięk dla 9 instrumentów, czyli mniej niż w badaniach opisanych w rozdziale 6. Ograniczenie było spowodowane brakiem muzyków grających na niektórych instrumentach. Autorka oczekiwała, że poziomy dźwięków nagranych w komorze bezdechowej będą niższe niż te nagrane w warunkach naturalnych. Ja też, szczerze mówiąc tego oczekiwałem, ale okazało się, że dla niektórych instrumentów poziomy nagrane w komorze były wyższe. Można to wytłumaczyć tym, że muzyk do którego dociera dźwięk tylko bezpośredni, bez pogłosu, słysząc niższy poziom po prostu zaczyna grać głośniej. Zjawisko to występuje też dla sygnału mowy: mówca w warunkach pola bezpogłosowego w sposób naturalny podnosi głos. Jak pamiętamy z poprzednich badań, dla takich instrumentów jak skrzypce i altówka występowała silna międzyuszną asymetria poziomu, przy czym obciążone bardziej było ucho lewe. Badania w komorze bezdechowej potwierdziły ten fakt. Do grupy instrumentów silniej obciążających ucho lewe doszły jeszcze wiolonczela i kontrabas, zaś silna asymetria z większym obciążeniem ucha prawego wystąpiła dla klarnetu i waltorni (harfa w tym eksperymencie nie była mierzona). Większa grupa instrumentów, dla których występuje wyraźna asymetria podczas pomiarów w polu swobodnym może być wytłumaczona wpływem charakterystyki kierunkowości instrumentu, który jest bardziej wyraźny w przypadku braku pogłosu i w grze indywidualnej. Wyniki te potwierdziła analiza rozkładów skumulowanych poziomu. Podobnie jak w eksperymencie poprzednim, asymetria zwiększa się wraz ze wzrostem poziomu.

Rozdział 8 zawiera dyskusję uzyskanych wyników i porównanie ich z danymi literaturowymi. Nie będę tej dyskusji omawiał, ponieważ starałem się ją przeprowadzać na bieżąco, przy omawianiu wyników poszczególnych eksperymentów. Wnioski wynikające z pracy przedstawiono w rozdziale 9. Na ich podstawie Autorka stwierdziła, że teza pracy została udowodniona. Doktorantka wskazała też na wyniki, które stanowią Jej oryginalne osiągnięcie i nie były nigdzie publikowane.

Pani mgr inż. Agnieszka Pietrzak podczas swoich badań zebrala ogromną ilość wyników, które poddała różnym analizom. Wymagało to dużo czasu i wysiłku. Pewnym mankamentem pracy jest moim zdaniem brak formalnej analizy statystycznej uzyskanych wyników. Autorka przeprowadza analizy poprzez omawianie wykresów i tabel, w których umieszczono wyniki uśrednione. Jak wspomniałem wyżej, warto by w niektórych przypadkach, sprawdzić istotność statystyczną wyników i reprezentatywność próbek. Tam, gdzie wyników było dużo, z istotnością i reprezentatywnością nie powinno być problemu, ale są też nagrania obejmujące stosunkowo krótki czas.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam:

- Przeprowadzenie pomiarów poziomów ekspozycyjnych dla 8 godzinnego dnia pracy metodą dozymetrii dwukanałowej, a nie oszacowanie ich na podstawie planu zajęć muzyków
- Udowodnienie, że narażenie muzyków na dźwięki o zbyt wysokim poziomie, niebezpiecznym dla zdrowia występuje częściej, niż dotychczas sądzono.
- Wytypowanie instrumentów najbardziej obciążających uszy muzyka nadmiernym hałasem.
- Przeprowadzenie dokładnych pomiarów asymetrii obciążenia uszu wraz z określeniem, dla których instrumentów ona występuje.
- Udowodnienie, że asymetria międzuszna zwiększa się wraz z poziomem ekspozycji
- Przeprowadzenie analiz częstotliwościowych dźwięków i określenie wpływu widma na asymetrię ekspozycji.
- Określenie wpływu sąsiednich instrumentów na ekspozycję muzyka na dźwięk i jej asymetrię podczas gry w zespołach.
- Zbadanie wpływu charakterystyki kierunkowości na poziom ekspozycji i jego asymetrię w warunkach pola swobodnego.

W rozprawie zauważyłem też dwa niewielkie błędy redakcyjne.

Na str. 36, 3 akapit. Jest tu odniesienie do Tabeli 5, chociaż w rzeczywistości chodzi o Tabelę 3.

Na str. 46 - 52, rys. 9 - 12, w podpisie wszędzie występuje: "Skumulowany rozkład wartości L_{AeqR} (linia przerywana) oraz L_{AeqR} (linia ciągła)...." Dwa razy jest L_{AeqR} , tymczasem linia ciągła przedstawia rozkład L_{AeqL} .

Rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Pauli Pietrzak pt. „Ocena ekspozycji muzyków na dźwięk z wykorzystaniem dwukanałowej dozymetrii hałasowej” potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie „Elektronika” (obecnie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika) oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze społecznej. Tym samym rozprawa spełnia wymagania art. 187 ust. 1-2 Ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Rozprawę zaliczam do kategorii „spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem”.

Wrocław, 17 stycznia 2021