

Warszawa, dnia 14.11.2024

prof. dr hab. inż. Jacek Nurzyński
Instytut Techniki Budowlanej
Zakład Fizyki Ciepłej, Akustyki i Środowiska
ul. Ksawerów 21, 02-656 Warszawa
e-mail: j.nurzynski@itb.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Szczepańskiego
pt. „Badania emisji hałasu maszyn z zastosowaniem mobilnego systemu pomiarowego”.

Promotor: dr hab. inż. Dariusz Pleban, prof. CIOP-PIB

Promotor pomocniczy: dr inż. Leszek Morzyński

Recenzja została opracowana na prośbę dyrektora Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego, zgodnie z pismem z dnia 11.10.2024 wystosowanym na podstawie Uchwały nr 17/2024 Rady Naukowej CIOP-PIB z dnia 18 września 2024 r. dotyczącej powołania recenzentów. Układ i zawartość recenzji dostosowano do wskazań CIOP-PIB przedstawionych w umowie, a także przepisów ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *"Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce"* (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 z późn. zm. art. 175 i art. 179).

Charakterystyka i ogólna ocena rozprawy

Rozprawa została opracowana w formie tradycyjnej, przyjęto dwie hipotezy badawcze, postawiono tezę i zrealizowano program badań zmierzający do jej udowodnienia. Praca, w swojej części zasadniczej liczy 155 stron, ponadto zawiera pięć załączników prezentujących sporządzone przez autora oprogramowanie sterujące skonstruowanymi w ramach rozprawy urządzeniami oraz szczegółowe wyniki badań w postaci zestawień liczbowych, w sumie zajmuje 220 stron.

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, bibliografii i załączników. Pierwsze dwa rozdziały stanowią wprowadzenie naświetlające problem hałasu występującego w środowisku pracy i jego źródła, oraz podsumowanie stanu wiedzy, obejmujące głównie stosowane obecnie metody badawcze emisji hałasu maszyn, poziomu ciśnienia akustycznego oraz poziomu mocy akustycznej, a także metody pomiarowe identyfikacji źródeł. Przedstawiono również dotychczasowe próby skonstruowania narzędzi usprawniających pomiary prowadzone w powyższym zakresie i poprawiających dokładność oraz powtarzalność wyników.

W rozdziale trzecim sformułowano cel pracy, tezę oraz dwie hipotezy badawcze. Dotyczą one możliwości skonstruowania mobilnego systemu pomiarowego *wspomagającego realizację badań związanych z wyznaczeniem parametrów emisji hałasu maszyn, który zapewni większą powtarzalność wyników pomiarów w porównaniu do pomiarów wykonywanych manualnie*. Omówiono również program prac i badań zmierzających do potwierdzenia słuszności postawionej tezy i zrealizowania głównego celu pracy.

Koncepcję autorskiego systemu pomiarowego, założenia i szczegóły projektowe oraz dokumentację procesu jego realizacji, przedstawiono w rozdziale czwartym. System ten został przez autora skonstruowany i poddany laboratoryjnym badaniom walidacyjnym, obejmującym pomiary hałasu emitowanego podczas pracy przez jego poszczególne komponenty, pomiary dokładności i powtarzalności pozycjonowania narzędzia badawczego oraz pomiary drgań głowicy manipulatora. Analizowano również powtarzalność wyników pomiarów parametrów pola akustycznego - obszerny i zróżnicowany program badań walidacyjnych został podsumowany w rozdziale piątym.

Kolejny rozdział dotyczy przeprowadzonych przez autora badań poziomu mocy akustycznej trzech wybranych maszyn, pomiary wykonano manualnie oraz za pomocą zbudowanego w ramach pracy mobilnego systemu pomiarowego. Uzyskane wyniki zostały poddane analizie statystycznej. W ostatnim, siódmym rozdziale przedstawiono wnioski z przeprowadzonych prac oraz kierunki dalszych badań.

Cel rozprawy, tj. *opracowanie mobilnego systemu pomiarowego wspomagającego realizację badań związanych z wyznaczeniem parametrów emisji hałasu maszyn* został jasno postawiony, a przyjęty przez autora program badawczy właściwie dostosowany do jego realizacji. Układ rozprawy jest przejrzysty, kolejne zadania badawcze były realizowane w sposób spójny i konsekwentny, metody i techniki badawcze uważam za adekwatne i prawidłowe. Wyniki prac zostały przedstawione w sposób klarowny i uporządkowany, zarówno w części dokumentującej skonstruowany przez autora mobilny system pomiarowy, jak też w części obejmującej wyniki badań i uwarunkowań akustycznych związanych z działaniem tego systemu. Prezentacja w postaci wykresów i zestawień jest czytelna.

Wyniki pracy mają duży potencjał aplikacyjny, zbudowany system pomiarowy jest właściwie gotowy do praktycznego zastosowania. Parametry akustyczne źródeł hałasu mają zasadnicze znaczenie w procesie prognozowania i oceny warunków akustycznych w środowisku pracy oraz stosowaniu środków zapobiegawczych, są też wykorzystywane w celach rankingowych przez producentów urządzeń. Zatem opracowanie systemu pomiarowego pozwalającego uzyskać powtarzalne, bardziej wiarygodne wyniki badań było celowe i uzasadnione. Rozprawa koncentruje się na urządzeniach stosowanych w środowisku pracy, ale opracowany system może być również wykorzystany do badania innych źródeł hałasu, wpływających na warunki akustyczne w środowisku zamieszkania oraz w przestrzeni zewnętrznej. W podsumowaniu rozprawy autor przedstawił kierunki dalszych badań zmierzające do zwiększenia możliwości i zakresu wykorzystania opracowanego rozwiązania.

Piśmiennictwo

Bibliografia liczy 126 pozycji dotyczących zagrożeń wibroakustycznych w przemyśle, emisji hałasu, metod pomiarowych stosowanych w akustyce, interpretacji i wizualizacji wyników badań akustycznych oraz lokalizacji i charakterystyki źródeł hałasu. Przywołane są też publikacje dotyczące maszyn autonomicznych, mobilnych robotów i pojazdów. Literatura jest bogata i różnorodna, ściśle związana z problematyką pracy. Autorem lub współautorem siedmiu publikacji jest mgr inż. Grzegorz Szczepański, należy do nich między innymi rozdział zatytułowany *Sound Field Visualization in Noise Hazard Control* stanowiący część monografii *Occupational Noise and Workplace Acoustics Advances in Measurement and Assessment Techniques*, która ukazała się w prestiżowym wydawnictwie Taylor & Francis Group w 2020 roku.

Oprócz wydawnictw o charakterze naukowym w bibliografii zamieszczono znaczną liczbę norm. Jest to w pewnym stopniu uzasadnione, biorąc pod uwagę cel pracy i jego aplikacyjny charakter, jednak normy te powinny być wymienione odrębnie. Ponadto oznaczenie norm symbolem PKN uważam za

niezręczne i nieczytelne. Podobna uwaga dotyczy wydawnictw GUS dotyczących warunków pracy w kolejnych latach 2019-2023, te pozycje powinny być zamieszczone w odrębnym zestawieniu. Natomiast ulotka informacyjna firmy Sonopan z pewnością nie powinna się znaleźć w piśmiennictwie rozprawy doktorskiej.

Kompetencje doktoranta

Ogólna wiedza teoretyczna. Program prac badawczych zrealizowanych przez autora w ramach rozprawy jest obszerny i zróżnicowany, dotyka kilku obszarów nauki i techniki. Konsekwentne i skuteczne przeprowadzenie tak złożonego programu wymagało rozległej wiedzy teoretycznej i to w różnych dziedzinach, w szczególności w zakresie badań i oceny parametrów akustycznych źródeł hałasu oraz zaawansowanych technik pomiarowych stosowanych w akustyce. Autor porusza się także z dużą swobodą pośród zagadnień związanych z projektowaniem i konstruowaniem urządzeń mechanicznych, sterowaniem takimi urządzeniami, automatyką i programowaniem. Wykazał swoje umiejętności w zakresie prowadzenia analiz statystycznych, interpretacji wyników badań oraz formułowania wniosków. Należy zatem stwierdzić, że przedstawiona rozprawa prezentuje wysoką ogólną wiedzę teoretyczną autora w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Warto też nadmienić, że mgr inż. Grzegorz Szczepański jest współautorem 22 artykułów opublikowanych w periodykach naukowych, autorem trzech rozdziałów w monografiach naukowych oraz współautorem 18 doniesień konferencyjnych. Większość z tych publikacji powstała w okresie ostatnich pięciu lat, część z nich ukazała się w wysoko punktowanych czasopismach (70 – 100 pkt.). Bogaty dorobek publikacyjny potwierdza wysoką ocenę ogólnej wiedzy teoretycznej autora rozprawy.

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Mgr inż. Grzegorz Szczepański samodzielnie opracował koncepcję złożonego systemu pomiarowego, poprzedzoną dogłębną analizą potrzeb i uwarunkowań występujących w zakresie badań parametrów akustycznych urządzeń emitujących hałas w środowisku pracy, procedur badawczych i stosowanej obecnie nowoczesnej aparatury pomiarowej. Wykonał projekt systemu, który następnie zweryfikował numerycznie. Skonstruował narzędzie badawcze złożone z wielu indywidualnie dobranych elementów, część z nich została wykonana wg projektu doktoranta za pomocą drukarki 3D. Wyposażył je w system sterowania zarządzany autorskim oprogramowaniem, dostosowanym do zakładanych zadań pomiarowych. Przeprowadził kompleksowe badania walidacyjne, a także pilotażowe pomiary wybranych urządzeń warunkach *in situ*, porównując ich wyniki z wynikami badań przeprowadzonych manualnie przez trzech różnych operatorów. Uzyskane rezultaty poddał analizie statystycznej i ocenie. Sformułował jasne i rzeczowe wnioski oraz wskazał kierunki dalszych badań. Zakres i charakter przedstawionych w rozprawie prac badawczych, przeprowadzonych w sposób spójny i uporządkowany pozwala stwierdzić, że rozprawa wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez doktoranta.

Oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Mobilny system pomiarowy zaprojektowany i skonstruowany przez mgr inż. Grzegorza Szczepańskiego ma charakter unikatowy i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowo-badawczego. Należy przy tym podkreślić interdyscyplinarny charakter przeprowadzonych prac. Obecnie brak jest doniesień literaturowych na temat podobnych rozwiązań konstrukcyjnych, rozwiązujących, przynajmniej w pewnym stopniu, problem dokładności i powtarzalności w badaniach parametrów akustycznych maszyn. Znane są jedynie przykłady rozwiązań stacjonarnych, np. w postaci stelaży pozycjonujących mikrofony, matryc mikrofonowych i manipulatorów skonstruowanych w postaci stacjonarnej płaskiej ramy, dostosowanych do nieco innego zakresu badań. Do oryginalnych elementów pracy zaliczam:

- opracowanie koncepcji mobilnego systemu pomiarowego uwzględniającego specyfikę zakładanych zadań badawczych,
- rozwiązania konstrukcyjne narzędzia badawczego, złożonego z elementów mechanicznych, napędów elektrycznych, komponentów elektronicznych oraz kontrolerów sterujących – sterowników i minikomputera sterującego,
- opracowanie toru pomiarowego dostosowanego do badania parametrów akustycznych źródeł hałasu metodą ciśnieniową i natężeniową,
- wykonanie układu sterującego całym systemem pomiarowym, oprogramowanie i zintegrowanie wymagające znajomości różnych języków programowania
- opracowanie programu badań walidacyjnych oraz analizę statystyczną uzyskanych wyników.

Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

Część badań akustycznych przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, w wytłumionej komorze quasi bezechowej. Nieco zaskakujący jest panujący w niej wysoki poziom tła akustycznego, a jeszcze bardziej jego znaczne zróżnicowanie w poszczególnych punktach pomiarowych. Ponieważ autor w dalszych analizach uwzględnia warunki akustyczne występujące w komorze badawczej powinny być one dokładnie rozpoznane, natomiast ogólne wyjaśnienia przedstawione w rozprawie, wskazujące na występowanie zjawisk modalnych, uważam za powierzchowne i niewystarczające. Co jest źródłem wysokiego poziomu tła w komorze badawczej i co jest powodem tak znacznego zróżnicowania - te pytania wymagają bardziej szczegółowej odpowiedzi.

Mam też zastrzeżenia co do metodyki wykonanych w ramach rozprawy pomiarów drgań. Zastosowany w tych badaniach akcelerometr o stosunkowo małej masie sejsmicznej nie daje gwarancji uzyskania miarodajnych wyników w zakresie niskich częstotliwości, natomiast sposób zamocowania czujnika budzi wątpliwości co do wiarygodności rezultatów uzyskanych w pasmach wysokich. Tymczasem wyniki badań zostały podane w bardzo szerokim zakresie 0,4 – 2500 Hz, bez żadnego komentarza. Moim zdaniem, wyniki te można było w pracy całkowicie pominąć, ponieważ, oprócz wskazanych wątpliwości, niewiele do niej nie wnoszą. Autor, jak się wydaje, był świadom tych mankamentów skoro dla oceny wpływu drgań manipulatora na wyniki pomiarów wykonał dodatkową serię badań porównawczych za pomocą mikrofonu osadzonego na statywie.

Podobna uwaga dotyczy zakresu częstotliwości, w jakim wykonano pomiary poziomu ciśnienia akustycznego hałasu emitowanego przez poszczególne elementy mobilnego systemu pomiarowego (3,15 Hz – 40 kHz). Moje zastrzeżenia dotyczą głównie pasm niskich, poniżej 31,5 Hz, gdzie uzyskanie wiarygodnych wyników wymaga zastosowania odpowiednich przyrządów i procedur. W jakim celu autor operuje tak szerokim spektrum, skoro późniejsze analizy są już prowadzone w znacznie węższym zakresie 50 – 6300 Hz? Mam też obiekcyjne uwagi co do liczbowej prezentacji wyników z dokładnością do 0,01 dB, jaki jest cel tak dokładnych odczytów i czy koreluje to z parametrami zastosowanej aparatury pomiarowej?

Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów, poziom hałasu emitowanego przez system wspomagający platformy nie jest proporcjonalny do prędkości (Tab. 2), co wydaje się zastanawiające. Autor rozprawy zauważył ten nietypowy efekt, jednak pozostawił go bez komentarza, nie próbuje wyjaśnić, dlaczego skonstruowane przez niego urządzenie przy pewnych prędkościach obrotowych pracuje ciszej. Podobne pytanie dotyczy zaobserwowanych różnic w poziomie hałasu emitowanego przy różnych

trajektorii ruchu ramion manipulatora (s.74). Obie kwestie wymagają choćby krótkiego komentarza, ponieważ w praktyce wpływają na ograniczenia zakresu stosowania opracowanego systemu pomiarowego.

Analizy dotyczące pozycjonowania narzędzia badawczego zostały przeprowadzone w odniesieniu do liczby impulsów poszczególnych enkodereów, wyniki tych analiza wykazały bardzo dużą dokładność i wysoką powtarzalność. Z praktycznego punktu widzenia interesujące jest jednak jak te ustalenia odnoszą się do położenia mikrofonu (sondy), do jego współrzędnych wyrażonych w jednostkach długości.

Uwagi dotyczące strony redakcyjnej rozprawy

Praca została napisana na ogół poprawnym stylem, sformułowania są zazwyczaj jasne i precyzyjne. Jej układ jest klarowny i uporządkowany, a forma graficzna i prezentacja wyników poprawna. Niemniej jednak występują pewne pomyłki, błędy leksykalne i kolokwializmy, które nie powinny się znaleźć w rozprawie doktorskiej, np.: *...energie akustyczną promieniowaną w powietrze... (s. 22), ...oprzeć konstrukcję o napęd... (s. 36), ... wytworzone za pomocą elementów aluminiowych... (s.47), ...nie będzie mieć... (s.70), ...ilość cykli... (s.79), ...pomiaru bezpośrednio po ruchu zawyżają wartości pasm... (s.89),...* Ponadto niektóre sformułowania są w mojej ocenie dość niezręczne: *...końcówka manipulatora...(s.25), ...wytypowano minikomputer...(s. 44), ...każdy wystający element może być przyczyną uderzenia...(s. 47), ... manipulator umożliwia dwa reżimy pracy...(s. 47),...* W tekście występują również usterki edytorskie w postaci tzw. literówek: *tych metody (s.16), źródło te działa (s.19), niższy ten (s.72), W Wyniki (s.118), o 27 dB (s.134).....* Należy też zaznaczyć, że szczytowy poziom dźwięku C wyraża się w decybelach, a nie paskalach (s.18), natomiast natężenie i poziom natężenia (s.98), oraz moc i poziom mocy (s.103) to są różne parametry. Wskazane mankamenty nie mają wpływu na merytoryczną wartość rozprawy, jednak pozostawiają niekorzystne wrażenie i wpływają ujemnie na odbiór całej pracy.

Ocena końcowa

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Grzegorza Szczepańskiego pt. *Badania emisji hałasu maszyn z zastosowaniem mobilnego systemu pomiarowego*, spełnia wymagania określone w art. 13.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 595 z późn. zm.) oraz § 6.4 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z 2018 r. poz. 261) i wnioskuję do Rady Naukowej CIOP-PIB o dopuszczenie Pana mgr. inż. Grzegorza Szczepańskiego do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

