

PROPAGACJA HAŁASU W PROCESIE TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO CUKRU Z WYKORZYSTANIEM SPRĘŻARKI CIĄGNIKA SIODŁOWEGO

Bogusław Cieślikowski, Norbert Pedryc

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Przeladunek cukru z wykorzystaniem specjalistycznych cystern wyposażonych we własne agregaty sprężarkowe skutkuje nadmierną emisją hałasu w kierunku pracownika obsługującego sprężarkę oraz do otoczenia. Ciągniki siodłowe wyposażone są we własne sprężarki zainstalowane po przeciwległej stronie zbiornika paliwa. Ten rodzaj przeladunku cukru w Przemśle Rolno-Spożywczym (PRS) przebiega na zewnątrz hal produkcyjnych emitując hałas o nadmiernych parametrach L_{Amax} i L_c również poza teren zakładu. Dokonano pomiarów hałasu i analiz akustycznych w strefach emisyjnych z ukierunkowaniem na potrzebę wprowadzenia struktur dźwiękochłonna - izolacyjnych w strefie sprężarki. Dobór izolacyjności akustycznej struktur wyciszeniowych zostanie dokonany na podstawie analizy amplitudowo-częstotliwościowej emitowanego hałasu.

Słowa kluczowe: przeladunek pneumatyczny, izolacyjność akustyczna, poziom hałasu silnika

Pole akustyczne wytwarzane przez sprężarkę ciągnika siodłowego

Emisja hałasu pochodzącego od przeladunku pneumatycznego cukru na zewnątrz hal produkcyjnych zakładu PRS wykazuje głównie kierunek emisji bezpośredniej ze względu na brak przegrody akustycznej pomiędzy sprężarką samochodu ciężarowego i otoczeniem. Efekt emisji zewnętrznej sprężarki wraz z poziomem emisji hałasu od strony układu wylotowego silnika skutkuje nadmierną emisją hałasu w kierunku pracownika obsługującego sprężarkę oraz do otoczenia. Przeladunek cukru z cysterny, która jest naczepą ciągnika siodłowego przebiega z wykorzystaniem specjalistycznych agregatów sprężarkowych. Ciągniki siodłowe wyposażone są we własne sprężarki zainstalowane po przeciwległej stronie zbiornika paliwa. Ten rodzaj przeladunku cukru w Przemśle Rolno-Spożywczym (PRS) przebiega na zewnątrz hal produkcyjnych emitując hałas o nadmiernych parametrach L_{Amax} i L_c poza teren zakładu. Istotnym zagadnieniem są składowe refleksyjne emitowanego hałasu wynikające z bliskiego sąsiedztwa hal produkcyjnych zakładu. Ze względu na emisję hałasu w przedziale niskich częstotliwości istnieje potrzeba wprowadzenia struktur dźwiękochłonna-izolacyjnych w strefie sprężarki [Cieślikowski 1995].

Rozpatrywany przypadek odnosi się zatem do zagadnień przyszłościowego projektowania struktur izolacyjnych sprężarki wykazujących bezpośredni kontakt ze źródłem hałasu. Zakres emisyjności hałasu do otoczenia wprowadza pewne uproszczenia ze względu na dyssypację energii fal akustycznych po przekroczeniu pewnej odległości od źródła dźwięku większej od długości fali lub dwa razy większej od najdłuższego wymiaru źródła [Gryboś 1998]. Uzyskujemy wówczas spadek poziomu dźwięku o ok. 6 dB na każde podwojenie odległości od źródła.

Pomiary hałasu wykonano w wyznaczonych punktach pomiarowych w otoczeniu sprężarki po obu stronach ciągnika siodłowego przy wykorzystaniu pełnej mocy silnika sprężarki w czasie emisji ustalonej przeliczalnej na czas przeładunku. W obszarze otaczającym strefę emisji sprężarki natężenie dźwięku zależy nie tylko od odległości od źródła, lecz również od charakterystyki emisyjnej źródła. Rozprzestrzenianie się hałasu emitowanego przez strefę układu wylotowego silnika sprężarki nie wykazuje cech tzw. pola „dalekiego” ze względu na wielokrotną refleksyjność fal. Cechy „pola dalekiego”, w którym kierunki drgań cząsteczek powietrza pokrywają się z kierunkami rozchodzenia fal przy występującej zgodności pomiędzy narastaniem prędkości cząsteczek i ciśnienia akustycznego mogą wystąpić dopiero na kierunkach emisyjności poza strefę linii wygradzenia zakładu. Hałas emitowany do otoczenia w tym przypadku można utożsamiać z poziomem zewnętrznego tła akustycznego.

W przypadku analizowanego układu występują rozproszone źródła hałasu na różnych rzędnych wysokościowych cechujące się zróżnicowanym poziomem emisji w punktach pomiarowych wyznaczone kierunkowością emisji oraz tworzeniem „pola swobodnego”.

Zasadniczym problemem właściwej oceny mocy akustycznej źródeł w analizowanych warunkach jest zjawisko odbicia fal od ścian hal fabrycznych oraz obiektów wyposażenia stacji przepompowni, przy czym w bliskiej odległości od ścian, poziomy mocy akustycznej fal odbitych i źródła mogą być równoważne [Cieślikowski 1993]. Wskutek tego ciśnienie akustyczne w punkcie pomiarowym składa się z ciśnienia wywołanego przez falę bezpośrednio emitowaną przez źródło i ciśnienia wytworzonego przez falę odbitą. W celu ograniczenia tych składowych pomiary powinny być wykonane w strefie pomiędzy polem bliskim i polem pogłosowym, które charakteryzuje się spadkiem poziomu dźwięku o 6 dB na każde podwojenie odległości od źródła. Pomiary realizowane w warunkach opisanej struktury zakładu są zatem pewnym uproszczeniem w stosunku do pełnej oceny poziomu mocy akustycznej źródeł dźwięku.

Można liczyć zatem, iż wprowadzenie struktur absorpcyjno-refleksyjnych w obszarze źródeł emisji, powoduje ograniczenie emisji kierunkowej przez składową izolacyjność akustycznej paneli R_w i w znacznym stopniu ograniczy składową refleksyjną, przy czym należy wyznaczyć rzeczywistą emisyjność źródła uwzględniając składowe pogłosowe i tła akustycznego, gdyż w przeciwnym przypadku dokonamy „przewymiarowania” projektowanych struktur wyciszeniowych.

Dla potrzeb przyszłościowego projektowania struktur wyciszeniowych sprężarki przewidziano zgodnie z wymaganiami normy ISO 3744 liczbę punktów pomiarowych oraz liczbę wymaganych pozycji mikrofonu wynoszącą 9 (wg wielkości obiektu - klasa 2). W związku z wpływem „tła akustycznego” wprowadzono poprawkę K1.

$$K_1 = -10 \log (1 - 10_{-0,1} L_p) \text{ [dB]} \quad (1)$$

gdzie:

- $L_{p'}$ – równoważny poziom dźwięku uśredniony na powierzchni pomiarowej [dB],
- $L_{p''}$ – równoważny poziom dźwięku hałasu „tła” [dB].

Zastosowane kryterium odnosi się do wartości różnicy poziomów L_p między mierzo-
nymi poziomami ciśnień akustycznych w stosunku do poziomu normatywnego dźwięku na
stanowisku operatora obsługującego sprężarkę, wyznaczone z zależności [Engel 2001]:

$$L_p = L_{p'} - L_{p''} \text{ [dB]} \quad (2)$$

Należy zatem ustalić czy poziom tła akustycznego ma wpływ na poziom hałasu w wy-
znaczonych punktach pomiarowych wg zależności:

$$L_p > 10 \text{ dB} \quad \text{wtedy } K_1 = 0 \quad (3)$$

W analizowanym przypadku warunek ten nie jest spełniony, co wprowadza koniecz-
ność uwzględnienia tej składowej w procesie projektowania struktur izolacyjnych obudowy
sprężarki. Dobierając struktury wyciszeniowe należy uwzględnić również stopień pochła-
niania dźwięku przez otoczenie strefy przeładunku przy założeniu, że pole akustyczne
pogłosowe jest rozproszone. Średni współczynnik pochłaniania dźwięku α wyznaczono na
podstawie oszacowania współczynnika pochłaniania dźwięku przez struktury ścian przyle-
gających hali fabrycznej i wyposażenia strefy przeładunkowej. Poprawkę K_2 wyznaczono
z chłonności akustycznej omawianej strefy i pola powierzchni pomiarowej:

$$K_2 = 10 \log [1 + 4 S/A] \text{ [dB]} \quad (4)$$

gdzie:

- S – pole powierzchni pomiarowej,
- A – chłonność akustyczna strefy pomiarowej [m^2] - wyznaczona z zależ-
ności: $A = \alpha S_v$,
- α – średni współczynnik pochłaniania dźwięku,
- S_v – całkowite pole powierzchni ograniczającej strefę pomiarową [m^2].

Oddziaływanie poziomów dźwięku blisko położonych źródeł hałasu o poziomach L_i
(wg zapisu w skali logarytmicznej) nie jest sumą arytmetyczną poziomów emisji składo-
wych pochodzących od dwóch źródeł. Poziom wypadkowy określa zależność:

$$L_c = 10 \log \sum_{i=1} 10^{0,1 L_i} \text{ [dB]} \quad (5)$$

gdzie:

- ΔL – oznacza nadwyżkę poziomu natężenia dźwięku wywołaną wystąpieniem
drugiego źródła dźwięku o podobnej emisji [dB]

Należy zatem w końcowej analizie ustalić czy występująca różnica $L_j - L_i = \Delta L$ nie
spowoduje wzrostu poziomu hałasu w tej strefie, gdyż w przeciwnym przypadku hałas
wypadkowy określi zależność:

$$L_c = L_j + \delta L \text{ [dB]} \quad (6)$$

Wynika stąd zasadnicze spostrzeżenie, iż o poziomie natężenia hałasu wypadkowego
decyduje zawsze źródło o największej mocy emisyjnej. W przypadku jednakowych pozio-

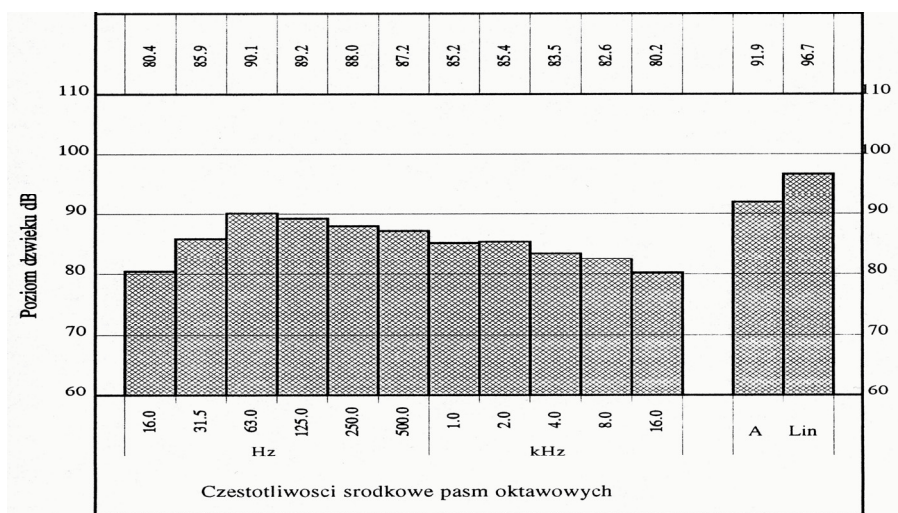
mów emisyjnych źródeł, zmierzony poziom hałasu jest zawsze większy o 3 dB w stosunku do emisji jednego źródła.

Biorąc pod uwagę zaistniały stan przekroczeń dopuszczalnych poziomów hałasu na stanowisku operatora sprężarki, został sprecyzowany cel pracy ukierunkowany na analizę widma amplitudowo-częstotliwościowego hałasu dla dominujących stref emisji oraz dokonanie doboru struktur izolacyjnych na podstawie obliczeń akustycznych [Cieślikowski 2009].

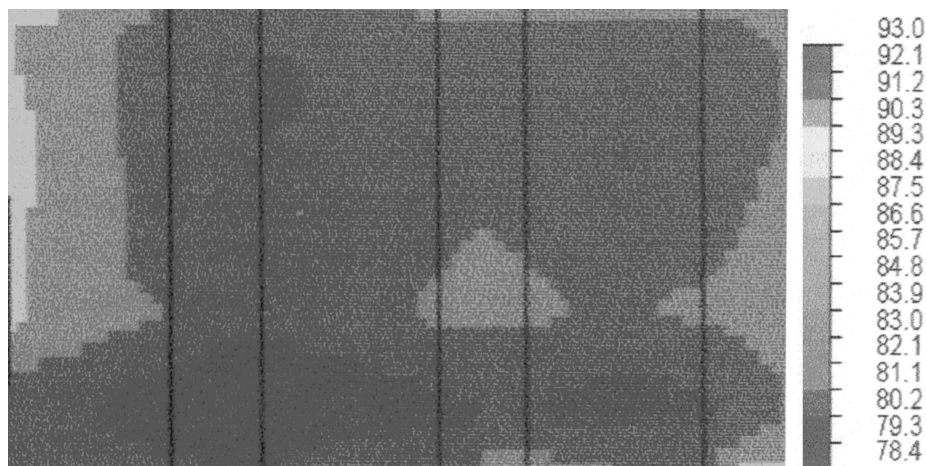
Pomiary akustyczne

Pomiary poziomów hałasu w pierwszej kolejności obejmowały swym zakresem wyznaczenie emisyjności głównych źródeł hałasu. Pomiary wykonano w tzw. „strefie bliskiej” źródła wykonując analizę w dziedzinie częstotliwości. Na podstawie pomiarów wstępnych wykonanych miernikiem CENTER 322 (Data Logger) wykazano, iż dominującymi źródłami dźwięku jest strefa lokalizacji sprężarki i silnika spalinowego napędzającego sprężarkę. Przeprowadzono analizę widmową zapisanych poziomów dźwięku w pasmach oktaowych. Analizę częstotliwościową przebiegów czasowych ciśnienia akustycznego wykonano z wykorzystaniem zestawu aparatury: magnetofonu pomiarowego NABRA IV-SJ, analizatora Bruell-Kjaer BK 2133. Analizator BK 2133 zawiera filtry cyfrowe umożliwiające w czasie rzeczywistym analizę sygnałów o częstotliwościach do 22,4 kHz.

Przykładową kartę pomiarową widma hałasu w „strefie bliskiej” sprężarki zaprezentowano na rys. 1, oraz rozkład przestrzenny emisji hałasu w tej strefie na wysokości pomiarowej 1,5 m w stosunku do podłoża (rys. 2). Wyniki pomiarów i analiz akustycznych posłużyły do wyznaczenia rzeczywistych poziomów emisji analizowanego źródła (tab. 1) co stanowi podstawę realizacji procesu projektowego zabezpieczeń przeciwhałasowych i doboru struktur izolacyjnych paneli dźwiękochłonna-izolacyjnych.



Rys. 1. Przykładowy wydruk karty pomiarowej widma hałasu w „strefie bliskiej” sprężarki
 Fig. 1. Sample printout of measurement sheet for noise spectrum in a “near” compressor zone



Rys. 2. Rozkład pola akustycznego w strefie „bliskiej” sprężarki
 Fig. 2. Acoustic field distribution in the “near” compressor zone

Tabela. 1. Wyznaczone poziomy emisji hałasu w strefie „bliskiej” sprężarek
 Table. 1. Determined noise emission levels in the “near” compressor zone

Marka samochodu	Obroty silnika [obr·min ⁻¹]	Ciśnienie rozładunku [bar]	Równoważny poziom dźwięku A (L _{Aeq}) [dB]	
			Strefa „bliska” sprężarki	Strefa pogłosowa otoczenia przeładunku
Scania	700	1,2	91,9	62,4
Scania	700	1,7	93,1	62,6
Volvo	900	1,2	89,9	62,7
Volvo	700	1,1	90,9	62,8
Daf	700	1,1	93,7	68,1
Daf	700	1,2	93,8	69,1

Wnioski

1. Wykazano znaczne poziomy dopuszczalnych poziomów emisji hałasu w strefie obsługowej sprężarki ciągnika siodłowego co wpływa również na pogorszenie klimatu akustycznego w strefie przeładunkowej i skutkuje nadmierną emisją hałasu poza teren zakładu.
2. Konieczne jest przeprowadzenie prac wyciszeniowych strefy emisyjnej poprzez zunifikowaną i niezależną w stosunku do sprężarki zabudowę dźwiękochłonno-izolacyjną. Dobrane struktury izolacyjne powinny zapewnić normatywne warunki pracy operatora ze względu na wartości normowe poziomu dźwięku i spowodują znaczne obniżenie emitowanego hałasu do środowiska.

Bibliografia

- Cieślikowski B.** 1995. Praktyczne rozwiązania obudów dźwiękochłonna-izolacyjnych pras ciężkich, 10th International Conference on Noise Control –Warszawa. s. 224-228.
- Cieślikowski B.** 1993. Opracowanie dokumentacji zabezpieczeń dźwiękochłonnych pras na Wydziale Tłoczni Zakładu nr 2 FIAT AUTO POLAND S.A. w Tychach, EUROPROJEKT Kraków. s. 1-306.
- Cieślikowski B.** 2009. Modeling of the vibration damping in an operator's seat system. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa – OI PAN. 9. s. 24-31.
- Engel Z.** 2001. Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Wyd. Naukowe PWN Warszawa. s. 65- 148.
- Gryboś R.** 1998. Drgania maszyn. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Wydanie II. Gliwice. s. 211-243.
- Norma: PN-EN ISO 3744 Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego.

NOISE PROPAGATION IN THE PROCESS INVOLVING PNEUMATIC TRANSPORT OF SUGAR USING A TRUCK-TRACTOR COMPRESSOR

Abstract. Sugar handling carried out using specialist tankers equipped with their own compressor units results in excessive noise emission towards compressor operator and the environment. Truck-tractors are equipped with individual compressors installed on opposite side of a fuel tank. This type of sugar handling in Agricultural and Food Industry (AFI) is used outside production halls and involves emission of noise with excessive parameters L_{Amax} and L_c , also beyond plant area. The research included noise measurements and acoustic analyses in emission zones, oriented towards the need to introduce soundproof - insulating structures in compressor area. The selection of acoustic insulating power for soundproofing structures will be made on the basis of amplitude-frequency analysis of emitted noise.

Key words: air-operated handling, acoustic insulating power, motor noise level

Adres do korespondencji:

Bogusław Cieślikowski; e-mail: bcieslikowski@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków