

## **OBNIŻENIE POZIOMU HAŁASU W PROCESIE PNEUMATYCZNEGO TRANSPORTU CUKRU Z WYKORZYSTANIEM SPRĘŻARKI CIĄGNIKA SIODŁOWEGO**

Bogusław Cieślikowski

*Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** Wykonana analiza propagacji hałasu w procesie transportu pneumatycznego cukru wykazała nadmierny poziom emisji hałasu w strefie sprężarki. Dokonano pomiarów hałasu oraz analiz akustycznych w strefach emisyjnych z ukierunkowaniem na potrzebę wprowadzenia struktur dźwiękochłonna - izolacyjnych w strefie sprężarki. Dobór izolacyjności akustycznej struktur wyciszeniowych został dokonany na podstawie analizy amplitudowo-częstotliwościowej emitowanego hałasu oraz obliczeń akustycznych. Wybór paneli izolacyjnych został realizowany w odniesieniu do wyników atestacji paneli w komorach akustycznych.

**Słowa kluczowe:** przeładunek pneumatyczny, izolacyjność akustyczna, poziom hałasu silnika

### **Koncepcja zabudowy dźwiękochłonna-izolacyjnej**

Przeładunek cukru w zakładach Przemysłu Rolno-Spożywczego (PRS) przebiega z wykorzystaniem specjalistycznych cystern z udziałem agregatów sprężarkowych. Ciągniki siodłowe wyposażone są we własne agregaty sprężarkowe zainstalowane po przeciwległej stronie zbiornika paliwa. Praca sprężarki skutkuje nadmierną emisją hałasu  $L_{Amax}$  i  $L_c$  w kierunku pracownika obsługującego sprężarkę, w kierunku hal fabrycznych a także poza linię wygradzenia zakładu. W obszarze otaczającym strefę emisji sprężarki natężenie dźwięku zależy nie tylko od odległości od źródła, lecz również od charakterystyki emisyjnej źródła [Gryboś 1998].

Wykonana uprzednio analiza pola akustycznego wytwarzanego przez sprężarkę ciągnika siodłowego na kierunku emisji bezpośredniej wykazała wpływ składowej refleksyjnej oraz poziomu „tła” akustycznego w obrębie strefy przeładunku cukru. Ze względu na nadmierny poziom emisji hałasu zwłaszcza w przedziałach niskich częstotliwości istnieje potrzeba wprowadzenia struktur dźwiękochłonna-izolacyjnych w postaci zabudowy dźwiękochłonna-izolacyjnej strefy sprężarki [Cieślikowski 1995].

Zabudowa ta jest konstrukcją niezależną w stosunku do różnorodnych typów ciągników siodłowych wykorzystywanych w procesie transportu i przeładunku cukru. Wprowadzono system zabudowy ruchomej, która przy wykorzystaniu własnego systemu jezdnego jest przemieszczana w kierunku strefy sprężarki ciągnika tylko na czas wyładunku cukru. Ga-

baryty zabudowy akustycznej dostosowane są do różnorodnych agregatów stanowiących wyposażenie ciągników siodłowych takich jak: Scania, Volvo i Daf.

Przed doбором struktur wyciszeniowych uwzględniono stopień pochłaniania dźwięku przez otoczenie strefy przeładunku w polu akustycznym pogłosowym. Średni współczynnik pochłaniania dźwięku  $\alpha$  wyznaczono na podstawie oszacowania współczynnika pochłaniania dźwięku przez struktury ścian hali fabrycznej i wyposażenia strefy przeładunkowej.

Biorąc pod uwagę zaistniały stan przekroczeń dopuszczalnych poziomu hałasu na stanowisku operatora sprężarki, został sprecyzowany cel pracy, poparty analizą widma amplitudowo-częstotliwościowego hałasu dla dominujących strefach emisji, ukierunkowany na dobór geometrii i struktur izolacyjnych zabudowy na podstawie obliczeń akustycznych [Cieślowski 2009]. Zestaw paneli dobrano wg typoszeregu (własnego opracowania) przyjmując za podstawę wyniki badań paneli w atestowanych komorach akustycznych. Ostatnim etapem prac jest ocena izolacyjności akustycznej zabudowy po zastosowania dobranych struktur izolacyjnych.

Wyniki pomiarów i analiz akustycznych (tematyka odrębnej publikacji) posłużyły do wyznaczenia rzeczywistych poziomów emisji analizowanego źródła stanowiąc podstawę do realizacji procesu projektowego zabezpieczeń przeciwhałasowych i doboru struktur izolacyjnych paneli dźwiękochłonno-izolacyjnych.

## Obliczenia akustyczne

Obliczenia akustyczne przeprowadzone zostały ze względu na potrzebę doboru struktur dźwiękoizolacyjnych w postaci paneli akustycznych absorpcyjno-refleksyjnych tworzących obudowę sprężarki. Wstępnie zestawione kryteria doboru struktury paneli wskazały na potrzebę uzyskania wysokiego współczynnika pochłaniania dźwięku  $\alpha = 0,7-0,9$  przy wysokiej izolacyjności akustycznej  $R_w$  wielowarstwowych paneli obudowy i zachowania wymogu niepalności materiałów. Strefa lokalizacji sprężarki pomiędzy ramą nośną ciągnika i zbiornikiem cysterny skutkuje niską wartością współczynnika  $\alpha$  na poziomie  $\alpha = 0,06-0,09$ .

Poziom odniesienia ciśnienia akustycznego  $L_m$  przyjęto dla częstotliwości odpowiadającej wartości poziomu dźwięku  $A$  równej 75[dB] (wg PN-84/N-01332), który został odniesiony do rozkładów średniego ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych  $L_{m1}$  odpowiadający poziomowi hałasu sprężarki  $L_{m1} = 91,9\text{dB(A)}$  - przyjmując zasadę [Engel 2001]:

$$N_{dop} \approx L_{dop} - 5 \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Zatem wartość izolacyjności akustycznej przegrody wyznaczona dla pasm oktaowych zapisana jest następująco:

$$D_{ob} = L_{m1} - L_{m2} + 5 \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Izolacyjność akustyczną właściwą ścian obudowy wyznaczono z zależności:

$$R_{sw} = D_{ob} - 10 \log \frac{S_{ob}}{S_{sr}}, \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

## Obniżenie poziomu hałasu...

Przyjmując możliwe gabaryty zabudowy wyrażone przez: wysokość  $H$ , szerokość  $b$  i głębokość  $a$ , konieczne do wyznaczenia powierzchni zabudowy i źródła hałasu wg zapisu:

$$S_{ob} = 2(a \cdot H + b \cdot H) + a \cdot b, \quad [m^2], \quad S_{zr} = 2(a \cdot h + b \cdot h) + a \cdot b \quad [m^2] \quad (4)$$

Izolacyjność akustyczną ścian obudowy wytłumionej obliczono z zależności:

$$R_{sw} = D_{ob} + 10 \log \frac{S_{ob}}{A_{ob}} \quad [dB], \quad (5)$$

Chłonność akustyczna  $A_{ob}$  została przyjęta dla objętości obudowy agregatu sprężarkowego z uwzględnieniem współczynnika pochłaniania dźwięku  $\alpha$  wyznaczonego dla strony wewnętrznej deklarowanego rodzaju paneli akustycznych oraz dla wynikowej powierzchni refleksyjnej strefy lokalizacji agregatu. Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki obliczeń izolacyjności względnej akustycznej panela absorpcyjno-refleksyjnego obudowy agregatu sprężarkowego

Table 1. Computation results of relative acoustic insulating power for absorbent-reflective panel in compressor unit housing

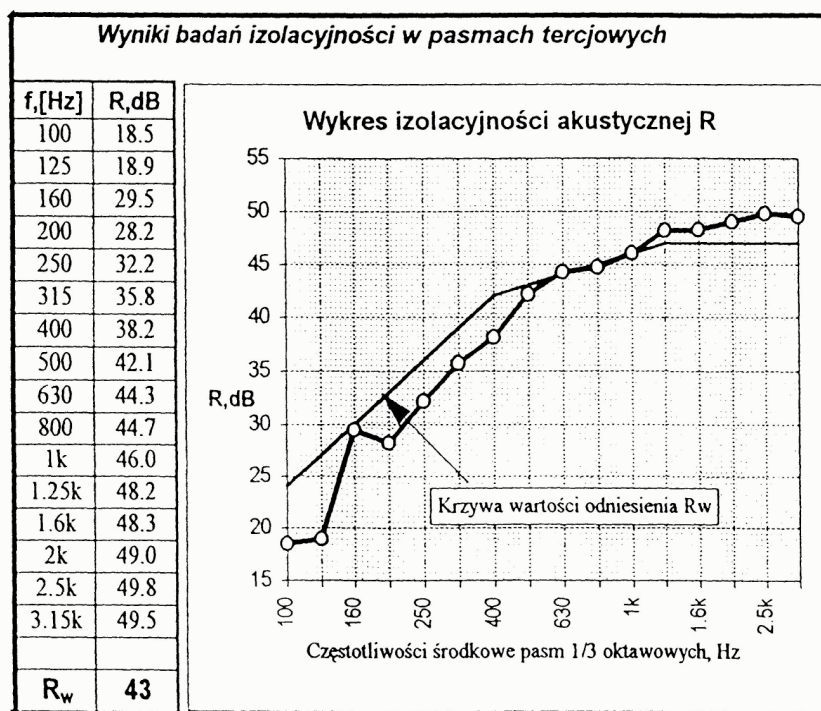
f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{m1}$ [dB]	91,9	89,2	88,0	87,2	85,2	85,4	83,5	82,6
$L_{m \text{ dop}}$ [dB]	91,0	83,0	77,0	73,0	70,0	68,0	66,0	64,0
$D_{ob}$ [dB]	4,1	11,2	18,0	19,2	20,2	22,4	22,5	20,1
$R_{sw \text{ OBUD}}$ [dB]	8,6	15,7	22,5	23,7	24,7	26,9	27,0	24,6
$\Delta R_{sw \text{ PANEL}}$ [dB]	12,5	18,9	32,2	42,1	46,0	49,0	47,7	43,4
$\Delta R_{sw}$ [dB]	3,9	3,2	9,7	18,4	21,3	22,1	20,7	18,8

Dla analizowanych poziomów częstotliwości w tab.1 występuje niewielka nadwyżka izolacyjności akustycznej  $R_{w \text{ PANEL}}$ . Można zatem ocenić pozytywnie dokonany dobór struktur izolacyjnych obudowy.

## Dobór struktur izolacyjnych

Dobór paneli akustycznych dla strefy korpusu zespołu napędowego i ściany grodziowej dokonany został w oparciu o własny projekt zestawu wielowarstwowych struktur podanych następnie atestacji w komorach akustycznych Katedry Wibroakustyki AGH [Cieślowski 1993]. Dobór rodzajowy panela wyznacza konieczność uzyskania dodatkich wartości  $\Delta R_{sw}$  dla każdego analizowanego pasma oktawowego. Wybrano panel absorpcyjno-refleksyjny o grubości 35 mm, którego strukturę stanowi: blacha perforowana (27,5% pow. pełnej) od strony źródła hałasu, tkanina syntetyczna przeciwpyłowa, wełna mineralna utwardzona powierzchniowo (jednostronnie)  $\rho=120 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , absorbent komorowy, płyta Kellera, blacha pełna od strony zewnętrznej. Wszystkie elementy metalowe zabudowy wykonane są w technologii pełnego cynkowania i nałożenia dwuwarstwowych powłok

lakierniczych ze względu na warunki pracy zabudowy na zewnątrz hali fabrycznej niezależnie od warunków pogodowych. Rozkład izolacyjności akustycznej właściwej wybranego panela przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Karta katalogowa atestacji struktury izolacyjnej panela [Cieślukowski 1993]  
 Fig. 1. Catalogue card for the attestation of panel insulating structure

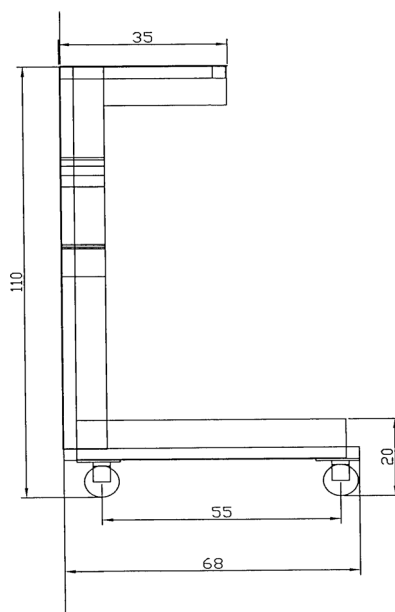
Dla trudnych do wytlumienia poziomów częstotliwości 63 i 125 Hz występuje niewielka nadwyżka izolacyjności akustycznej panela  $R_{w \text{ PANEL}}$  (tab.1) w stosunku do wymaganej izolacyjności  $R_{w \text{ OBUD.}}$ . W pozostałych pasmach wartości  $\Delta R_{w \text{ PANEL}}$  wyraźnie wzrastają, co świadczy o istnieniu pewnego zapasu izolacyjności. Boczne ściany dźwiękochłonno-izolacyjne zastosowane w strefie ramy nośnej ciągnika wykazują niepełne dopasowanie do nieregularnego zarysu konstrukcji ciągnika przy konieczności wprowadzenia licznych przepustów dla elementów zasilania agregatu. Efektywną izolacyjność akustyczną obudowy wyznacza się z uwzględnieniem stosunku powierzchni zabudowy  $F_c$  do pola powierzchni pozostawionych szczelin  $F_o$  wg zależności [Engel 2001]:

$$D_{ob} = 10 \log \frac{F_c}{F_o} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

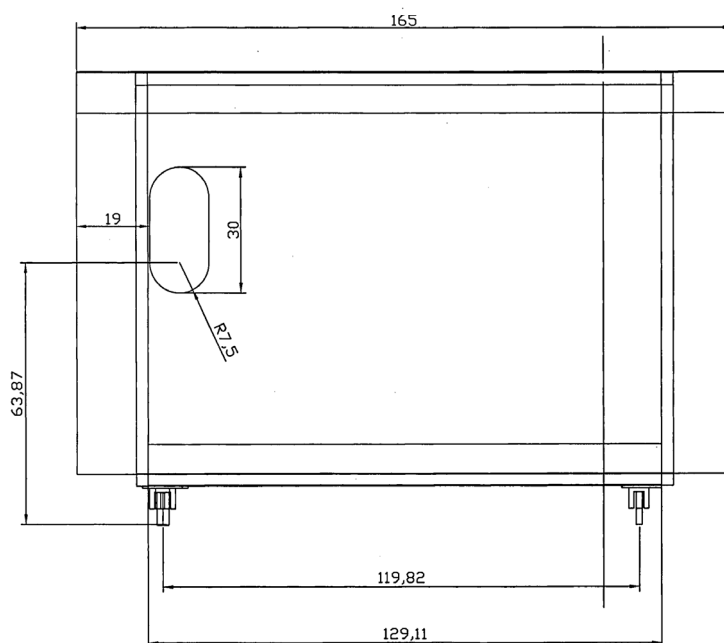
## Obniżenie poziomu hałasu...

Rzeczywistą izolacyjność akustyczną tej strefy uzyskuje się na niższym poziomie ok. 16 dB pomimo przyjęcia struktury o pozornie nadmiarowej izolacyjności (pasma powyżej 1 kHz) wg parametrów podanych w karcie katalogowej panela. Wykonane analizy zostały potwierdzone wynikami pomiarów propagacji hałasu zarówno na stanowisku operatora jak również w odniesieniu do linii wygradzenia terenu zakładu. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku określa rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 kwietnia 2004 r. Dopuszczalny poziom hałasu wyrażony równoważnym poziomem dźwięku  $A$  [dB] dla pory dnia wynosi 60 dB a dla pory nocy 50 dB dla terenu zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego - jako otoczenia analizowanego zakładu PRS. Zróżnicowane przedziały czasowe pomiędzy kolejnymi przeładunkami cukru wyznaczają utrudnienia w ocenie emisji hałasu do środowiska. Dyrektywa 2002/49/WE określa inny niż dotychczas stosowany w Polsce, wspólny dla państw UE wskaźnik hałasu (dzienno-wieczorowo-nocny) i wyznacza wspólną metodologię obliczeniową do określania emisji i propagacji hałasu (m.in. PN-EN ISO 3744).

W stosunku do normatywów dopuszczalnego poziomu hałasu na stanowisku pracy operatora uzyskano wprawdzie znaczny zapas poziomu hałasu 77,6 dB(A), lecz jest to konieczne dla potrzeb uzyskania normatywnych poziomów hałasu na granicy terenu zakładu. Zasadnicze gabaryty obudowy przedstawione zostały na rys. 2 i 3 bez zaznaczenia uszczelnień kanału przepustowego rurociągu sprężarki oraz palisadowych (podatnych) uszczelnień krawędzi ścian bocznych przylegających do nieregularnego zarysu konstrukcji posadowienia sprężarek w strefie ramy nośnej ciągnika siodłowego.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny ruchomej obudowy strefy agregatu sprężarkowego  
Fig. 2. Cross-section of mobile housing of compressor unit area



Rys. 3. Obudowa ruchoma strefy agregatu ciągnikowego w widoku czołowym  
 Fig. 3. Mobile housing of tractor unit zone in front view

## Wnioski

1. Wykazano możliwość poprawy klimatu akustycznego w strefie stanowiska transportu pneumatycznego cukru przez zastosowanie ruchomej obudowy strefy sprężarki ciągnika siodłowego wykonanej z paneli akustycznych o izolacyjności względnej  $R_w = 43$  dB.
2. Dobrane struktury izolacyjne panela zapewniają normatywne warunki pracy operatora ze względu na wartości normowe poziomu dźwięku i powodują znaczne obniżenie emitowanego hałasu do środowiska.

## Bibliografia

- Cieślikowski B. 1993. Opracowanie dokumentacji zabezpieczeń dźwiękochłonnych pras na Wydziale Tłocznicy Zakładu nr2 FIAT AUTO POLAND S.A. w Tychach. EUROPROJEKT- Kraków. s. 1-306.
- Cieślikowski B. 1995. Praktyczne rozwiązania obudów dźwiękochłonno-izolacyjnych pras ciężkich, 10<sup>th</sup> International Conference on Noise Control –Warszawa. s. 224-228.
- 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.  
Rozporządzenia Ministra Środowiska z 29 lipca 2004r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 178 poz. 1841).

## **NOISE LEVEL REDUCTION IN THE PROCESS INVOLVING PNEUMATIC TRANSPORT OF SUGAR USING A TRUCK-TRACTOR COMPRESSOR**

**Abstract.** Completed analysis of noise propagation in the process involving air-operated transport of sugar has proven excessive level of noise emission in a compressor area. The research included noise measurements and acoustic analyses in emission zones, oriented towards the need to introduce soundproof - insulating structures in the compressor area. The selection of acoustic insulating power for soundproofing structures has been made on the basis of amplitude-frequency analysis of emitted noise and acoustic computations. Insulating panels have been selected with reference to the results of panel attestation in acoustic chambers.

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

**Adres do korespondencji:**

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