

MOŻLIWOŚĆ OBNIŻENIA POZIOMU HAŁASU W KABINIE CIĄGNIKA ROLNICZEGO

Bogusław Cieślikowski, Zbigniew Ślipek

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. Proces projektowy kabin dla ciągników rolniczych powinien uwzględniać kryteria akustyczne odnośnie normatywnego poziomu hałasu w strefie pracy operatora. W artykule zaprezentowano możliwość ograniczenia poziomu hałasu wnikającego do kabiny przez struktury przeszkleń. Dobór izolacyjności akustycznej przeszkleń dokonany został na podstawie analizy amplitudowo-częstotliwościowej hałasu wnikającego i obliczeń akustycznych kabiny. Wybór rodzaju przeszkleń powinien być realizowany w odniesieniu do wyników atestacji szyb w komorach akustycznych oraz ze względu na wymagania bezpieczeństwa pracy operatora.

Słowa kluczowe: kabina kierowcy, izolacyjność akustyczna, poziom hałasu

Wstęp

Obniżanie poziomu hałasu na w miejscu pracy operatora ciągnika dotyczy nie tylko ograniczania emisyjności wewnętrznych źródeł hałasu, lecz również wnikania hałasu zewnętrznego przez struktury przeszkleń i dachu kabiny. Działania te zmuszają do znacznych modyfikacji konstrukcji kabiny ciągnika, co jest działaniem naprawczym w odniesieniu do błędów popełnionych na etapie oceny kryterialnej projektowanego środka technicznego. Prace te należy realizować w kompleksowym ujęciu takich zagadnień jak wentylacja i klimatyzacja kabiny, gdyż stosowanie praktyk otwierania dachu i drzwi kabiny w trakcie prac polowych niweczy efekt wszelkich prac wyciszeniowych. Wyniki publikowanych pomiarów hałasu w kabinie ciągnika rolniczego są zróżnicowane w przedziale od 72-95 dB [Majewski 1999]. Stosowanie indywidualnych zabezpieczeń przeciwhałasowych w postaci nauszników przeciwhałasowych lub wkładek elastomerowych, zamykających szczelnie przewód słuchowy nie przynosi spodziewanych efektów [Cieślikowski 1993]. Zabezpieczenia takie są mało przydatne podczas prac polowych z zastosowaniem agregatu ciągnikowego ze względu m.in. na potrzebę kontaktu słuchowego operatora z otoczeniem oraz konieczność rozpoznawania dźwiękowych symptomów pracy agregatu.

Zagadnienia dźwiękoizolacyjności kabin

W ostatnich latach zaznaczył się duży postęp w zakresie dostosowania kabin ciągników do poprawy klimatu akustycznego w miejscu pracy operatora ciągnika. Proces projektowy

uwzględnić ponadto wymagania ergonomiczne, formę przemysłową, mikroklimat i bezpieczeństwo bierne operatora. W większości przypadków kabiny te zakwalifikować można do grupy zabudów dźwiękoizolacyjnych częściowo otwartych. Brak jest zwykle podłogi w kabinie, która szczelnie przylegałaby do ścian bocznych.

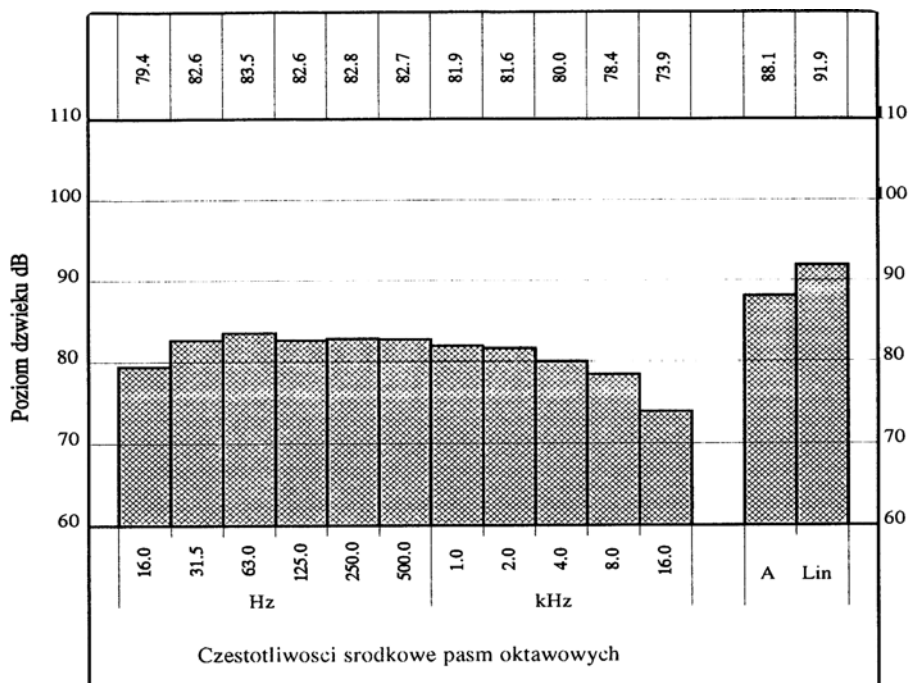
Wprowadzane struktury dźwiękoizolacyjne powinny cechować się zróżnicowaną izolacyjnością z uwzględnieniem strefowego rozkładu poziomu hałasu w kabinie kierowcy. Przeszklenia pogarszają klimat akustyczny kabiny przez nadanie dużej refleksyjności płaszczyzn często do siebie równoległych. Zasadniczy problem stanowi uszczelnienie strefy czołowej kabiny od strony silnika ciągnika, tym bardziej, że ciągnik nie ma wyciszonej ściany grodziowej oddzielającej przestrzeń silnika i kabiny. Nadkola tworzące jednocześnie błotniki tylnych kół ciągnika nie posiadają żadnych struktur wyciszeniowych. Brak jest też uszczelnień tylnej strefy kabiny pomiędzy nadkolami w strefie podnośnika hydraulicznego. Włączenie intensywnego przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych kabiny pogarsza efekt prac wyciszeniowych kabiny. Mała objętość kabiny w stosunku do przestrzeni przeznaczonej do pracy operatora jest zasadniczym utrudnieniem przy opracowaniu właściwego doboru struktur dźwiękoizolacyjnych kabiny i przyjęcia właściwych założeń do projektu akustycznego.

Biorąc pod uwagę zaistniały stan przekroczeń dopuszczalnych poziomów hałasu na stanowisku kierowcy ciągnika, został sprecyzowany cel pracy ukierunkowany obniżenie poziomu hałasu i poprawę klimatu akustycznego. Etapy opracowania obejmują analizę widma amplitudowo-częstotliwościowego hałasu dla dominujących stref emisji oraz dobór struktur izolacyjnych przeszkleń kabiny na podstawie obliczeń akustycznych.

Pomiary akustyczne

Pomiary poziomów hałasu zewnętrznego dochodzącego do powierzchni przeszkleń czołowych i bocznych kabiny kierowcy ciągnika 5312/14/E wykonano w tzw. „strefie bliskiej” źródła wykonując analizę w dziedzinie częstotliwości [PN-90/N – 0153, ISO-2372].

Wykazano, iż najwyższy poziom dźwięku występuje w strefie środkowej szyby czołowej kabiny i powodowany jest efektem wylotu spalin z tłumika, pracą silnika i układu przeniesienia napędu. Analiza widmowa dotyczyła poziomów w poszczególnych pasmach oktawowych. Analizę częstotliwościową przebiegów czasowych ciśnienia akustycznego wykonano z wykorzystaniem zestawu aparatury: magnetofonu pomiarowego NABRA IV-SJ, analizatora Bruell-Kjaer BK 2133, komputera PC i drukarki. Analizator BK 2133 jest analizatorem częstotliwości o stałej szerokości pasm od poziomu oktawy do 1/24 oktawy. Analizator zawiera filtry cyfrowe umożliwiające w czasie rzeczywistym analizę sygnałów o częstotliwościach do 22,4kHz. Analiza widmowa dla strefy zaznaczającej się znacznym poziomem hałasu została przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Karta pomiarowa widma hałasu w strefie środkowej szyby przedniej kabiny
 Fig. 1. Measuring chart of noise spectrum within middle zone of the cabin front windshield

Obliczenia akustyczne

Obliczenia akustyczne przeprowadzone zostały ze względu na potrzebę doboru przedniej szyby bezpiecznej klejonej typu VSG mocowanej na uszczelce obwodowej o pełnej linii uszczelnienia. Wstępnie zestawione kryteria doboru powierzchni przeszkleń ścian kabiny pogarszają znacznie chłonność akustyczną wnętrza ze względu na małą odległość wzajemnie równoległych przeszkleń bocznych i dużą powierzchnię szyby czołowej o niskim współczynniku pochłaniania dźwięku na poziomie $\alpha = 0,06-0,09$. Ponadto zaznacza się wnikanie hałasu przez szczeliny tylnej płaszczyzny zamykającej przestrzeń kabiny w strefie podnośnika hydraulicznego.

Przypisując poziom odniesienia jako średni poziom ciśnienia akustycznego wyznaczony pomiarowo wg PN-84/N-01332 uzyskano wymagany rozkład średniego ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych L_{m1} odpowiadający poziomowi hałasu 88,1dB(A). Wartość poziomu odniesienia dla ciśnienia akustycznego L_m przyjęto dla częstotliwości odpowiadającej wartości poziomu dźwięku A równej 75[dB].

Miarą skuteczności obudowy jest wartość izolacyjności akustycznej obudowy wyznaczona w zależności od częstotliwości w pasmach oktawowych:

$$D_{ob} = L_{m1} - L_{m2} + 5 \quad [dB] \quad (1)$$

Izolacyjność akustyczną właściwą ścian kabiny wyznaczono z zależności:

$$R_{sw} = D_{ob} - 10 \log \frac{S_{ob}}{S_{zr}} \quad [dB]. \quad (2)$$

Obliczono uprzednio powierzchnię zabudowy dźwiękoizolacyjnej S_{ob} jako kabiny o kształcie zbliżonym do prostopadłościanu oraz powierzchnię emisji S_{zr} przeszklenia czołowego kabiny, co pozwoliło na wyznaczenie izolacyjności akustycznej ścian kabiny wyflumowanej wg zależności:

$$R_{sw} = D_{ob} + 10 \log \frac{S_{ob}}{A_{ob}} \quad [dB]. \quad (3)$$

Chłonność akustyczna A_{ob} została wyliczona dla rzeczywistej powierzchni i rodzaju struktur akustycznych dachu, ścian bocznych oraz uprzednio zainstalowanych paneli w strefie podłogi i ściany grodziowej [Engel 2001]. Wyniki obliczeń zamieszczono tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki obliczeń izolacyjności względnej akustycznej szyb VSG R_{sw} panela
Table 1. Results of related acoustic insulation ability of glass window VSG R_{sw} panel

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{m1} [dB]	83,5	82,6	82,8	82,7	81,9	81,6	80,0	78,4
L_{dop} [dB]	91,0	83,0	77,0	73,0	70,0	68,0	66,0	64,0
D_{ob} [dB]	-2,5	4,6	10,8	14,7	16,2	18,6	19,0	19,4
R_{sw} obudowy	0,4	7,5	13,7	17,6	19,8	21,5	21,9	22,3
R_{sw} -VSG								
VSG 5,3	2,8	8,2	12,4	17,4	20,1	20,9	21,6	21,2
VSG 6,4	4,2	12,3	20,0	26,2	24,3	28,6	26,3	23,5
ΔR_{sw}								
VSG 5,3	2,4	0,7	1,3	-0,2	0,3	-0,6	-0,3	-1,1
VSG 6,4	3,8	4,8	6,3	8,6	4,5	7,1	4,4	1,2

Weryfikacja obliczeń

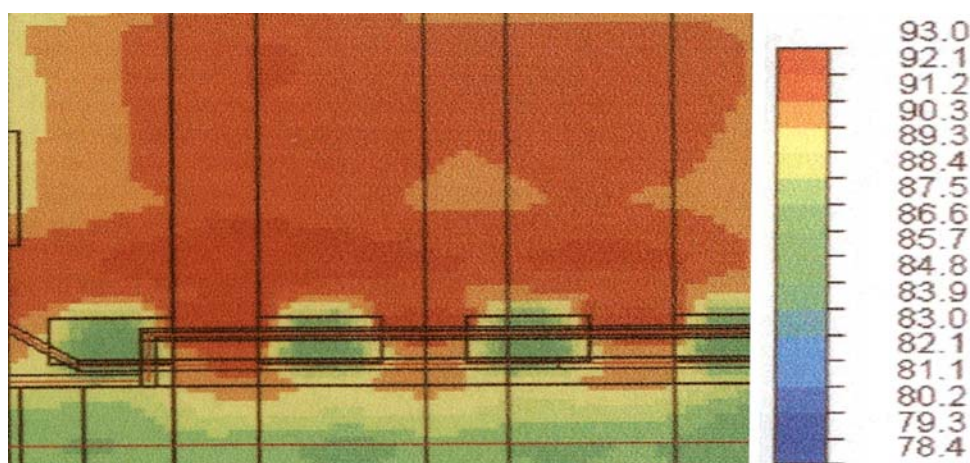
Kabina częściowo zamknięta wykazuje obniżenie skuteczności ochronnej kierowcy przed hałasem. Przedmiotem wcześniejszego opracowania był dobór struktury izolacyjnej panela podłogowego kabiny o izolacyjności względnej akustycznej $R_w=43$ dB z maksymalnym doszczelnieniem ściany grodziowej. Izolacyjność akustyczną kabiny o powierzchni zabudowy F_c z pozostawieniem szczelin F_o w dopasowaniu podłogi kabiny do nieregularnego zarysu zespołu przekładniowego, przepustów dla układu kierowniczego i hamulcowego oraz szczelin w strefie podnośnika można obliczyć na podstawie zależności [Engel 2001]:

$$D_{ob} = 10 \log \frac{F_c}{F_o} \quad [dB]. \quad (4)$$

Możliwość obniżenia poziomu hałasu...

Po podstawieniu do wzoru wyznaczono rzeczywistą izolacyjność akustyczną analizowanej kabiny na poziomie 17,3 dB. Wartość ta wskazuje na znaczące zróżnicowanie skuteczności izolacji akustycznej kabiny w stosunku do izolacyjności katalogowej zastosowanych struktur.

Poprawę stanu izolacyjności akustycznej strefy pracy kierowcy dokonać można metodą ekranowania tylnej ściany kabiny [Basztura 1996]. Zastosowano w tym przypadku ekran płaski o powierzchni 0,8m² za fotelem kierowcy. Ekran wykonano z szyby VSG 6,4 w ramie stalowej z prętami pionowymi klejonymi do szyby eliminującymi drgania pochodzące od konstrukcji posadowienia ekranu na korpusie mostu napędowego. Przykładowy rozkład pola akustycznego dla wykonanych pomiarów przed i za ekranem przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Rozkład pola akustycznego w strefie ekranowania przestrzeni pracy kierowcy
Fig. 2. Distribution of acoustic field within screen zone of the driver's work area

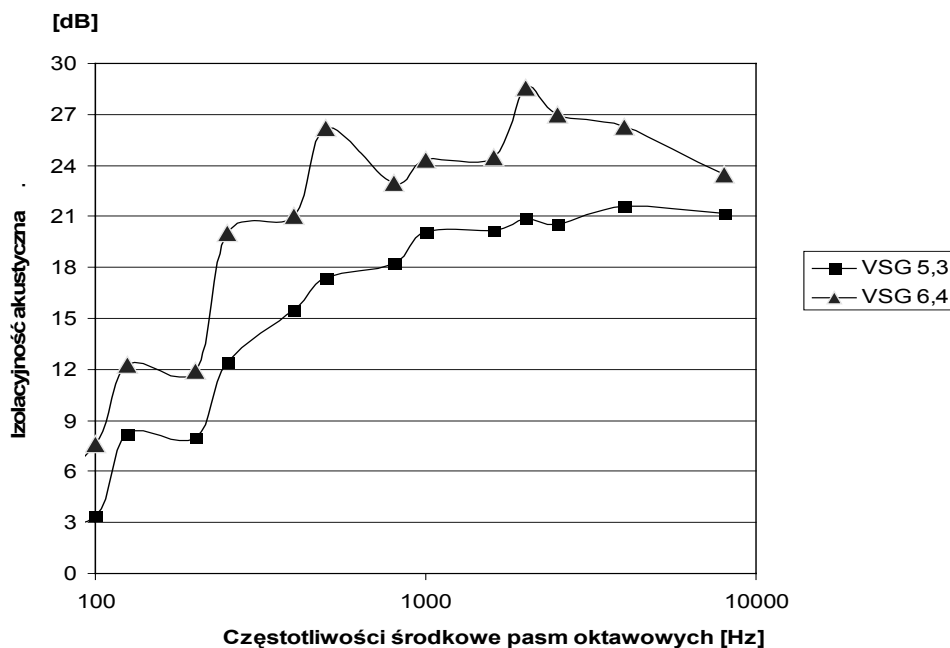
Dobór struktur izolacyjnych

Dobór paneli akustycznych dla strefy korpusu zespołu napędowego i ściany grodziowej dokonany został w oparciu o własny zestaw rodzajowy paneli poddanych uprzednio atestacji w komorach akustycznych Katedry Wibroakustyki AGH [Cieślikowski 1993]. Wybór struktury izolacyjnej wyznacza konieczność uzyskania dodatnich wartości ΔR_{sw} dla każdego pasma oktawowego. Rozkład izolacyjności akustycznej właściwej R_w dwóch rodzajów szyb bezpiecznych VSG przedstawiono na rys. 3.

Dla trudnych do wytłumienia poziomów częstotliwości 63Hz występuje niewielka nadwyżka izolacyjności akustycznej $R_{sw-VSG 6,4}$ w stosunku do wymaganej izolacyjności R_{sw} obudowy.

W pozostałych pasmach wartości ΔR_{sw} wyraźnie wzrastają, co świadczy o odpowiednim doborze struktury izolacyjnej. Szyba VSG 5,3 zastosowana w kabinie ciągnika wyka-

zuje znacznie gorszy rozkład izolacyjności akustycznej. W zakresie czterech pasm okta-
wowych izolacyjność akustyczna jest niewystarczająca co eliminuje taką szybę do zasto-
sowania w kabinie.



Rys. 3. Rozkład izolacyjności akustycznej analizowanych szyb bezpiecznych VSG [Cieślukowski 1993]

Fig. 3. Distribution of acoustic insulation ability in analyzed safety glass windows VSG [Cieślukowski 1993]

Wnioski

1. Wykazano możliwość poprawy klimatu akustycznego w kabinie kierowcy ciągnika rolniczego przez zastosowanie przeszkleń z szyb bezpiecznych VSG 6,4 w miejsce dotychczas stosowanych po uprzednim zaizolowaniu strefy zespołu napędowego ciągnika i ściany grodziowej kabiny panelem akustycznym o izolacyjności względnej $R_w = 43$ dB.
2. Dobrane struktury izolacyjne panela, uzupełnione przeszklzeniami z szyb bezpiecznych VSG stanowią uzupełnienie procesu projektowego kabiny ciągnika ze względu na wartości normatywne poziomu dźwięku.
3. Analizowana kabina wymaga zasadniczych uzupełnień konstrukcyjnych i weryfikacji przyjętych kryteriów konstrukcyjnych.

Bibliografia

- Basztura C.** 1996. Komputerowe systemy diagnostyki akustycznej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Cieślakowski B.** 1993. Opracowanie dokumentacji zabezpieczeń dźwiękochłonnych pras na Wydziale Tłocznictwa Zakładu nr 2 FIAT AUTO POLAND S.A. w Tychach. Oprac. Europrojekt Kraków 1993, s. 1-306.
- Cieślakowski B.** 1995. Praktyczne rozwiązania obudów dźwiękochłonno-izolacyjnych pras ciężkich, 10th International Conference on Noise Control-Warszawa 1995. s. 224-228.
- Engel Z.** 2001. Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Majewski Z.** 1999. Działanie drgań na organizm operatora ciągników i maszyn rolniczych, Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej nr 5 s. 4-5.
- Normy: PN-90/N – 0153 Drgania. Metody pomiarów i oceny drgań maszyn. ISO-2372 „Dopuszczalne poziomy drgań”.

POSSIBLE REDUCTION OF NOISE LEVEL IN CABIN OF AGRICULTURAL TRACTOR

Summary. Design criteria for agricultural tractor cabins should take into consideration acoustic features pertaining to the standard noise level within the operator's environment. The paper presents possibility to reduce the levels of noise penetrating into the cabin through glass structures. Selection of acoustic insulation power properties of glass windows was carried out based on the penetrating noise amplitude and frequency as well as cabin acoustic calculations. Selection of glass window type should be done in relation to glass tests performed in acoustic chambers, with regard to the operator work safety.

Key words: driver's cabin, acoustic insulation ability, noise level

Adres do korespondencji:

Bogusław Cieślakowski; e-mail: bcieslikowski@ar.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków