

MOŻLIWOŚĆ OBNIŻENIA POZIOMU HAŁASU W KABINIE CIĄGNIKA ROLNICZEGO – DOBÓR STRUKTUR IZOLACYJNYCH

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 na stanowisku kierowcy. W artykule zaprezentowano dobór struktur izolacyjnych paneli akustycznych dla dominujących źródeł hałasu w kabinie. Dobór struktur izolacyjnych powinien być realizowany wyłącznie w odniesieniu do wyników atestacji paneli w komorach akustycznych.

Słowa kluczowe: kabina kierowcy, izolacyjność akustyczna, poziom hałasu

Wstęp

W warunkach prac polowych poziom hałasu na stanowisku operatora ciągnika rolniczego zależy od wydatkowanej mocy silnika, rozwijanej siły uciągu, prędkości jazdy i stanu technicznego układów funkcjonalnych ciągnika. Wyniki publikowanych pomiarów hałasu w kabinie ciągnika rolniczego są zróżnicowane w przedziale od 72–95 dB [Majewski 1999].

Stosowanie indywidualnych zabezpieczeń przeciwhałasowych w postaci nasuszników przeciwhałasowych lub wkładek elastomerowych zamykających szczelnie przewód słuchowy nie przynosi spodziewanych efektów. Zabezpieczenia takie są mało przydatne podczas prac polowych z zastosowaniem agregatu ciągnikowego ze względu m.in. na potrzebę kontaktu słuchowego operatora z otoczeniem oraz konieczności rozpoznawania dźwiękowych symptomów pracy agregatu.

Do „czynnych” sposobów obniżania poziomu hałasu należy zaliczyć wszelkie metody ograniczania emisyjności źródła hałasu. Działania te zmuszają do znacznych modyfikacji konstrukcji ciągnika, co jest działaniem naprawczym w odniesieniu do błędów popełnionych na etapie oceny kryterialnej projektowanego środka technicznego. Podejmowane są zatem działania „bierne”, obejmujące wprowadzenie struktur dźwiękoizolacyjnych ograniczających rozchodzenie się fal dźwiękowych. Działania skupione są w zakresie projektowania kabin dźwiękochłonno-izolacyjnych, dostosowanych do możliwości ich posadowienia na konstrukcji nośnej ciągnika. Działania 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 [Cieślikowski 1995].

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 w kabinie. Etapy opracowania zawierają analizę widma amplitudowo-częstotliwościowego hałasu dla dominujących stref emisji oraz dokonanie doboru struktur izolacyjnych na podstawie obliczeń akustycznych.

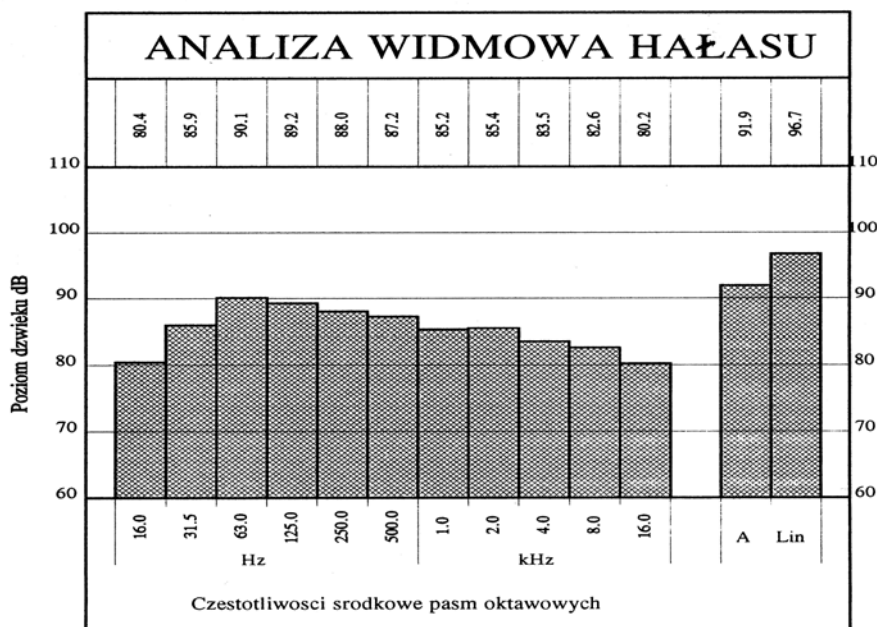
Zagadnienia dźwiękoizolacyjności kabin

W ostatnich latach zaznaczył się duży postęp w zakresie dostosowania kabin ciągników do poprawy klimatu akustycznego w miejscu pracy operatora ciągnika. Proces projektowy uwzględnia ponadto wymagania ergonomiczne, formę przemysłową, mikroklimat i bezpieczeństwo bierne operatora [Basztura 1996]. W większości przypadków kabiny te zakwalifikować można do grupy zabudów dźwiękoizolacyjnych częściowo otwartych. Brak jest zwykle podłogi w kabinie, która szczelnie przylega do ścian bocznych. Takie rozwiązanie wynika z trudności wyznaczenia jednolitego poziomu podłogi powyżej korpusu mostu napędowego, zwolnic, kolumny kierowniczej oraz korpusu podnośnika hydraulicznego.

Struktury dźwiękoizolacyjne mają zróżnicowany charakter ze względu na potrzebę stosowania dużej powierzchni przeszkleń kabiny. Wprowadzenie szyb płaskich pogarsza 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 posiada 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 wizerunek skuteczności prac wyciszeniowych kabiny. Mała objętość kabiny w stosunku do przestrzeni przeznaczonej do pracy operatora jest zasadniczym utrudnieniem procesu opracowania właściwego doboru struktur dźwiękoizolacyjnych kabiny i przyjęcia właściwych założeń do opracowania projektu akustycznego.

Pomiary akustyczne

Pomiary poziomów hałasu w kabinie kierowcy ciągnika 5312/14/E w pierwszej kolejności dotyczyły wyznaczenia emisyjności głównych źródeł hałasu PN-90/N – 0153, ISO-2372. Pomiary wykonano w tzw. „strefie bliskiej” źródła wykonując analizę w dziedzinie częstotliwości. Wykazano, iż dominującymi źródłami dźwięku jest strefa korpusu skrzyni przekładniowej przylegająca do ściany grodziowej silnika. 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 22,4 kHz. Analiza widmowa hałasu dla opisanej strefy została przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Karta pomiarowa rozkładu widma hałasu w strefie korpusu przekładni i ściany grodziowej kabiny

Fig. 1. Noise spectrum distribution chart for gear housing and cabin firewall

Obliczenia akustyczne

Obliczenia akustyczne przeprowadzone zostały ze względu na potrzebę doboru struktur panela przeznaczonego do zainstalowania na ścianie grodziowej od strony przedziału silnika. Założenie dotyczyło wprowadzenia dwóch struktur paneli: dźwiękochłonnej i dźwiękoizolacyjnej. Wstępnie zestawione kryteria doboru struktury paneli wskazały na potrzebę uzyskania wysokiego współczynnika pochłaniania $\alpha = 0,7-0,9$ przy wielowarstwowej budowie i niepalności materiałów.

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 91,9dB(A). Wartość ta została odniesiona do poziomu ciśnienia akustycznego L_{m2} w pasmach oktawowych dla częstotliwości odpowiadającej wartości normatywnego poziomu dźwięku A równej 75dB zgodnie z PN-84/N-01307.

Miarą skuteczności obudowy jest wartość izolacyjności akustycznej obudowy D_{ob} wyznaczona dla częstotliwości pasm oktawowych:

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

Izolacyjność akustyczną właściwą R_{sw} ścian kabiny wyznaczono z zależności:

$$R_{sw} = D_{ob} + 10 \log \frac{S_{ob}}{S_{\dot{z}r}}, \text{ [dB]} \quad (2)$$

gdzie:

S_{ob} – powierzchnia obudowy [m^2],

$S_{\dot{z}r}$ – powierzchnia dominującego źródła emisji dźwięku [m^2].

Izolacyjność akustyczną ścian obudowy wytłumionej obliczono z zależności:

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

Chłonność akustyczna A_{ob} została przyjęta dla objętości kabiny kombajnu na poziomie $4,35 m^3$ [Engel 1993]. Uwzględniając średni współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha = 0,47$ wyznaczony dla wykładziny dachowej oraz ścian i podłogi kabiny, uzyskujemy R_{ob} mniejsze od D_{ob} o 3,4 dB w zakresie analizowanych pasm oktaowych. Wyniki obliczeń zamieszczono tabeli 1.

Tabela. 1. Wyniki obliczeń izolacyjności względnej akustycznej panela $R_{sw \text{ panela}}$

Table 1. Calculation results for a relative acoustic insulating power of panel: $R_{sw \text{ panela}}$

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{m1} [dB]	90,1	89,2	88,0	87,2	85,2	85,4	83,5	82,6
L_{m2} [dB]	90	82	77	75	70	68	66	64
D_{ob} [dB]	5,1	12,2	16	17,2	20,2	22,4	22,5	23,6
$R_{sw \text{ obudowy}}$	8,0	15,1	18,9	20,1	23,1	25,3	25,4	26,5
$R_{sw \text{ panela}}$	12,5	18,9	32,2	42,1	46,0	49,0	47,7	43,4
ΔR_{sw}	4,5	3,8	13,3	22,0	22,9	21,9	22,7	16,9

Weryfikacja obliczeń

Kabina częściowo zamknięta wykazuje obniżenie skuteczności ochronnej kierowcy przed hałasem. Dlatego korzystne jest maksymalne doszczelnienie stref emisji hałasu panelami podłogowymi i panelami ściany grodziowej. Izolacyjność akustyczną kabiny z pozostawieniem szczelin w dopasowaniu podłogi kabiny do nieregularnego zarysu zespołu przekładniowego, przepustów dla układu kierowniczego i hamulcowego można obliczyć na podstawie wzoru [Engel 2001]:

$$D_{ob} = 10 \log \frac{F_C}{F_O}, \text{ [dB]} \quad (4)$$

gdzie:

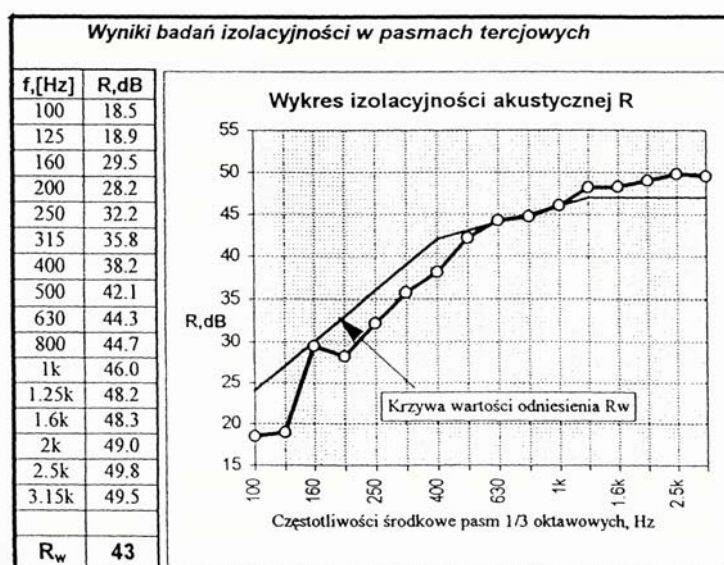
$$F_C = 2(a \cdot b + a \cdot H + b \cdot H) + a \cdot b \text{ [m}^2\text{]},$$

$$F_O = 0,1 \cdot a \cdot b \text{ [m}^2\text{]}$$

Po podstawieniu do wzoru otrzymano izolacyjność akustyczną dla analizowanej kabiny częściowo zamkniętej o wartości 16,3 [dB]. Wartość ta wyznacza skuteczność izolacji akustycznej kabiny w stosunku do izolacyjności katalogowej zastosowanych struktur.

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 [Cieślowski 1993]. Dobór panela wyznacza konieczność uzyskania dodatnich wartości ΔR_{sw} dla każdego pasma oktawowego. Wybrano panel absorpcyjno-refleksyjny AR-40 o grubości 40 mm, którego strukturę stanowi: blacha perforowana (27,5% pow. pełnej) od strony źródła hałasu, następnie wełna mineralna $\rho=120 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, absorbent siatkowy, płyta Kellera, blacha pełna od strony wnętrza kabiny. Rozkład izolacyjności akustycznej właściwej wybranego panela przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Karta katalogowa atestacji struktury izolacyjnej panela akustycznego [Cieślowski 1993]
 Fig. 2. Catalogue sheet for acoustic panel insulating structure attestation [Cieślowski 1993]

Dla trudnych do wytłumienia poziomów częstotliwości 63 i 125 Hz występuje niewielka nadwyżka izolacyjności akustycznej panela $R_{sw \text{ panela}}$ w stosunku do wymaganej izolacyjności $R_{sw \text{ obudowy}}$. W pozostałych pasmach wartości ΔR_{sw} wyraźnie wzrastają, co świadczy o odpowiednim doborze struktury izolacyjnej.

Wnioski

1. Wykazano możliwość poprawy klimatu akustycznego w kabinie kierowcy ciągnika rolniczego przez uzupełnienie konstrukcji kabiny o dodatkowe panele akustyczne w strefie zespołu przekładniowego i ściany grodziowej kabiny w strefie silnika.
2. Analizowana kabina wymaga zasadniczych uzupełnień konstrukcyjnych i weryfikacji przyjętych kryteriów konstrukcyjnych.

Bibliografia

- Basztura C.** 1996. Komputerowe systemy diagnostyki akustycznej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Cieślikowski B.** 1993 Opracowanie dokumentacji zabezpieczeń dźwiękochłonnych pras na Wydziale Tłoczni Zakładu nr2 FIAT AUTO POLAND S.A. w Tychach. Oprac. Europrojekt Kraków 1993, s. 1-306.
- Cieślikowski B.** 1995, „Praktyczne rozwiązania obudów dźwiękochłonno-izolacyjnych pras ciężkich”, 10th International Confererece 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”.

METHODS TO LOWER NOISE LEVEL IN AGRICULTURAL TRACTOR CABIN – SELECTION OF INSULATING MATERIAL STRUCTURES

Summary. In the design process of agricultural tractor cabins one should take into consideration certain acoustic criteria concerning exposure of the operator to standard noise levels. The paper present a selection of insulating acoustic panel structures protecting against prevailing noise sources inside cabin. Such selection of insulating structures should be based only on the test results of relevant panels in the acoustic chambers.

Key words: operator's cabin, acoustic insulating power, noise level

Adres do korespondencji:

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