

ANDRZEJ CZERWIŃSKI, ZYGMUNT DZIECHCIOWSKI¹

WERYFIKACJA PARAMETRÓW AKUSTYCZNYCH OBUDÓW MASZYN DRUKUJĄCYCH O DUŻEJ WYDAJNOŚCI

ACOUSTIC PARAMETERS VERIFICATION OF ENCLOSURES OF HIGH-PERFORMANCE PRINTING PRESSES

Streszczenie

W pracy zajęto się problematyką hałasu w przemyśle poligraficznym. W przypadku dużych maszyn drukarskich jedynym skutecznym sposobem obniżenia jej aktywności akustycznej jest wykorzystanie obudowy dźwiękochłonna-izolacyjnej. W pracy przedstawiono wyniki weryfikacji parametrów akustycznych obudowy akustycznej dużej maszyny drukującej. Dodatkowo przeanalizowano wpływ nowej maszyny na klimat akustyczny panujący w hali, w której maszyna ta została zainstalowana.

Słowa kluczowe: hałas maszyn drukujących, obudowa akustyczna, ochrona stanowiska pracy

Abstract

This paper deal with problem of noise in the printing industry. For large printing machines only effective way to noise reduction of its acoustic activity is to use acoustic enclosure. In this paper the results of verification of the acoustic properties of acoustic enclosure of large printing press is presented. In addition, influence of a new press printing on the acoustic climate prevailing in the press room was analysed.

Key words: press printing noise, acoustic enclosure, work place protection

¹ Mgr inż. Andrzej Czerwiński, dr inż. Zygmunt Dziechciowski, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Przemysł poligraficzny należy do gałęzi przemysłu o dużej aktywności akustycznej. Zwłaszcza jest to widoczne tam, gdzie wykorzystywane są maszyny drukujące o dużej wydajności. W zakładach tych występuje ryzyko wystąpienia ponadnormatywnego hałasu, a to z kolei wymaga podjęcia działań mających na celu obniżenie wartości hałasu, zwłaszcza w strefie obsługowej maszyn poligraficznych. Działania, których celem jest redukcja hałasu na stanowisku pracy można podzielić na działania organizacyjne i techniczne [2]. Działania organizacyjne w głównej mierze sprowadzają się do takiego ulokowania maszyny, by była w jak najmniejszym stopniu w interakcji z maszynami sąsiednimi. Działania techniczne natomiast to wszelkiego rodzaju ograniczenie transmisji energii akustycznej pochodzącej od najgłośniejszych maszyn.

Przy redukcji hałasu maszyn drukarskich stosowane są różnego rodzaju środki techniczne [2] [3]. Należą do nich m.in. ekrany akustyczne, obudowy dźwiękochłonne – izolacyjne, tłumiki akustyczne, pochłaniacze akustyczne. Podstawowe wiadomości na ten temat można znaleźć w wielu pozycjach litery [2] [3] [4]. W pracy [1] zajęto się problematyką ograniczenia hałasu w przemyśle poligraficznym przy zastosowaniu różnych rozwiązań ekranów akustycznych. Ekranu są szczególnie przydatne tam, gdzie całkowite odseparowanie maszyny, poprzez zamknięcie jej w dźwiękoszczelnej obudowie, jest bardzo trudne ze względu na zagadnienia wentylacji hali.

W przemyśle poligraficznym często spotyka się obudowy dźwiękochłonne – izolacyjne. Mimo, że są to zabezpieczenia drogie są chętnie stosowane ze względu na kompleksowe ograniczenie emitowanego przez maszynę hałasu.

Zainstalowanie nowej maszyny może wpłynąć na klimat akustyczny panujący na hali produkcyjnej i zwiększyć lokalnie bądź globalnie poziom dźwięku. Może to spowodować przekroczenia wartości dopuszczalnych na stanowiskach pracy znajdujących w sąsiedztwie nowo zainstalowanej maszyny. Ważny w takich przypadkach jest dobór odpowiednich zabezpieczeń akustycznych i sprawdzenie, czy dana adaptacja będzie skuteczna w zakresach, w których maszyna wykazuje największą aktywność akustyczną.

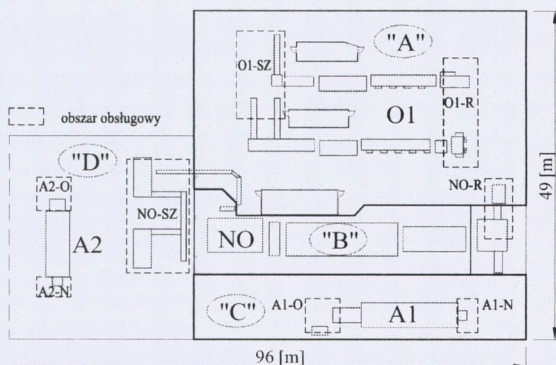
W niniejszych pracy przedstawiono analizę wpływu pełnej obudowy akustycznej na ograniczenie hałasu emitowanego przez dużą maszynę drukującą. Pomiary i ocena zostały wykonane dla nowej maszyny, która została zainstalowana na hali produkcyjne drukarni RR Donnelley w Krakowie. Dokonano weryfikacji parametrów akustycznych niniejszej obudowy oraz sprawdzono efekt jej zainstalowania na zmianę poziomu hałasu w strefach pracy operatorów maszyn.

2. Opis hali

Rzut hali, na której zainstalowano nową maszynę, wraz z rozmieszczeniem znajdujących się na niej maszyn, pokazano na rys. 1. Hala ma wymiary (długość×szerokość×wysokość): 96×49×7 m. Zainstalowanie nowej obudowy podzieliło halę maszyn na cztery części: strefę „A”, w której znajdują się dwie maszyny rolowe, strefę „B”, w której zainstalowana jest nowa maszyna drukująca rolowa, wraz z obudową dźwiękochłonna – izolacyjną, oraz strefy „C” i „D”, w których zlokalizowane są maszyny drukujące arkuszowe.

Przestrzeń hali maszyn jest w znacznym stopniu wypełniona. Objętość hali zajmują maszyny drukujące, elementy konieczne do zapewnienia ciągłości produkcji (papier, pojemniki z farbą i inne), ale także urządzenia zaplecza technicznego. Dodatkowo wolna przestrzeń obszaru „D” zajęta jest przez magazyn wysokiego składowania. Wszystkie te elementy wpływają na wartość chłonności akustycznej analizowanej hali, zwłaszcza w zakresie niskich częstotliwości.

Hala nie posiada dodatkowej adaptacji akustycznej wnętrza. Ściany we wnętrzu są otynkowane i pokryte farbą emulsyjną. Do ścian hali (do jednej trzeciej wysokości) przymocowano blachę aluminiową. Blacha ta nie jest pomalowana. Sufit hali również jest malowany farbą emulsyjną. Posadzka hali wykonana jest z betonu szlifowanego.



Rys. 1. Rzut hali wraz z lokalizacją maszyn oraz stref pracy na analizowanej hali

Fig. 1. Top view of the analysed hall with the location of printing press and work zones

Nowa maszyna offsetowa została zainstalowana w strefie „B” pomiędzy istniejącymi maszynami. Maszyna ta, z uwagi na dużą wartość poziomu mocy akustycznej niektórych jej podzespołów (złamywak, agregaty farbowe), wpływa na poziom hałasu w strefach przebywania pracowników obsługi sąsiadujących maszyn.

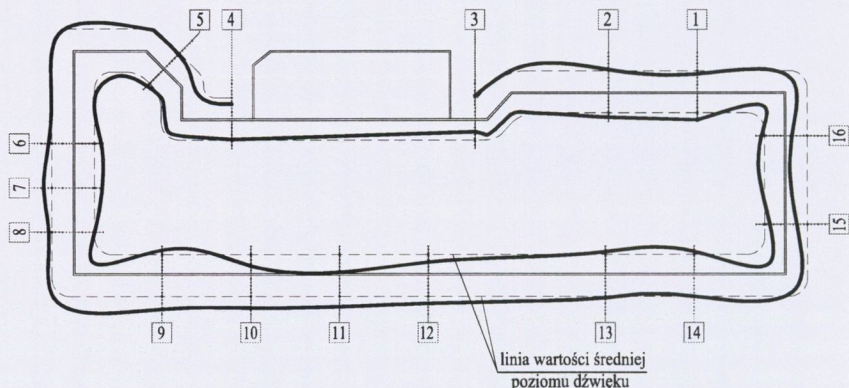
Strefy obsługowe maszyn pokazano na rysunku 1. Są one zlokalizowane w rejonie sztaplarek (O1-SZ) oraz rozwijaków (O1-R) maszyn rolowych O1, w rejonie nakładania (A1-N) oraz odbioru (A1-O) maszyny arkuszowej A1, w rejonie nakładania (A2-N) oraz odbioru (A2-O) maszyny arkuszowej A2 oraz w rejonie sztaplarki (NO-SZ) i rozwijaka (NO-R) nowej maszyny rolowej NO. Hałas, na który narażony jest pracownik w poszczególnych strefach jest sumą hałasu pochodzącego od maszyny którą obsługuje oraz od pozostałych maszyn i urządzeń zainstalowanych w otoczeniu (w tym także nowej maszyny drukującej). Dodatkowo poziom hałasu jest zwiększany przez wpływ odbić dźwięku od wszystkich powierzchni hali (przegród, ścian, sufitu, podłogi).

3. Adaptacja akustyczna nowej maszyny rolowej

Z uwagi na możliwość przekroczeń wartości dopuszczalnych w strefach hali produkcyjnej (rys. 1), będących skutkiem pracy nowej maszyny drukującej, konieczna była

adaptacja akustyczna zainstalowanej tam maszyny. Wykonano pełną obudowę akustyczną nowej maszyny oraz dodatkowo kabinę dla jej operatorów, w której znajduje się pulpit sterowniczy. Wymiary gabarytowe obudowy wynoszą (długość×szerokość) ok. 40 x 13. Maszyna zabudowana jest do samego sufitu (średnia wysokość obudowy wynosi ok. 7 m). Przekrój ściany obudowy jest typowym przekrojem jak dla obudów tego typu: blacha zewnętrzna - wełna mineralna - blacha wewnętrzna perforowana. Obudowa maszyny posiada powierzchnie przeszklone, oraz drzwi i bramy. Ścian przeszklonych zajmują powierzchnię około 70 m². Powierzchnia zajmowana przez drzwi wejściowe do osłony oraz bramy wynosi ok. 46 m². Do obudowy maszyny przysunięta jest kabina dźwiękochłonno - izolacyjna operatorów. Powierzchnie przeszklonych kabiny wynoszą ok. 12 m², a powierzchnia drzwi - ok. 4 m². Dodatkowo w obudowie wykonane są przepusty na wstęgę papieru.

Obudowa została poddana weryfikacji jej parametrów akustycznych. Wyznaczono rozkład poziomu dźwięku wewnątrz i na zewnątrz obudowy, oraz określono różnicę poziomów jako miarę jej skuteczności. Pomiary wykonano w 16 punktach zlokalizowanych wewnątrz obudowy (1m od ściany) oraz odpowiadających im punktom na zewnątrz obudowy (1.5 m od ściany). Rozkład punktów pomiarowych pokazano na rys. 2



Rys. 2. Rozkład poziomu dźwięku w otoczeniu obudowy – na zewnątrz i w jej wnętrzu

Fig. 2. Sound levels distribution in the surrounding enclosure - on the outside and inside

Najwyższe wartości linii poziomu dźwięku wewnątrz obudowy można zaobserwować tam, gdzie występują najgłośniejsze podzespoły maszyny, tj. złamywak, agregaty farbowe (okolice punktów pomiarowych od 4 do 10 oraz w okolicach punktów 1, 2, 13, 14, 15 i 16). W okolicy pieca maszyny (okolice punktów pomiarowych 3, 11 i 12) poziomy dźwięku przyjmują wartości poniżej wartości średniej.

Na zewnątrz obudowy najwyższe wartości linii poziomu dźwięku osiąga w okolicy przepustów osłony, tj. punkty 15 i 16, oraz punkt 4. W pozostałych obszarach wartość linii przebiega w pobliżu lub poniżej wartości średniej.

Różnica poziomów D została określona z zależności:

$$D = L_{Aeq,wew} - L_{Aeq,zew} - K \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie $L_{Aeq,wew}$ to równoważny poziom dźwięku we wnętrzu obudowy, $L_{Aeq,zew}$ to równoważny poziom dźwięku na zewnątrz obudowy, a K to poprawka uwzględniająca właściwości akustyczne hali.

W celu określenia wartości poprawki K wykonano pomiary właściwości akustycznych hali w oparciu o analizę czasu pogłosu.

Wykonana obudowa podzieliła istniejącą halę na trzy, w znacznej mierze odseparowane od siebie, przestrzenie (oznaczone na rys. 1 jako „A”, „C” i „D”). Przy analizie właściwości akustycznych każdą z tych stref potraktowano oddzielnie. W każdej wykonano pomiar czasu pogłosu w kilku wybranych punktach [6]. Wartości z poszczególnych punktów zostały uśrednione dla każdej ze stref i na tej podstawie obliczono wartość chłonności akustycznej stosując formułę Sabina [2, 5]:

$$A = \frac{0,161 \cdot V}{T} \quad \text{m}^2 \quad (2)$$

gdzie $V \text{ m}^3$ to objętość danej strefy, a $T \text{ s}$ to czas pogłosu określony dla danego obszaru.

Znając pole powierzchni ograniczających pomieszczenie F danej strefy można wyznaczyć średni współczynnik pochłaniania dźwięku α_{sr} badanego pomieszczenia oraz poprawkę K [2]:

$$K = 10 \cdot \log \left[1 + 4 \cdot \left(\frac{S}{A} \right) \right] \quad \text{dB} \quad (3)$$

gdzie $S \text{ m}^2$ to pole powierzchni pomiarowej.

Oszacowane wartości parametrów akustycznych poszczególnych stref hali pokazano w tabeli 4.

Tabela 4

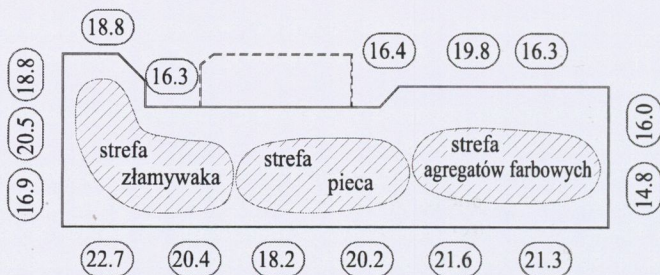
Wartości parametrów akustycznych poszczególnych stref hali

L.p.	Oznaczenie strefy hali wg rys. 1	Średnia wartość czasu pogłosu T_{60} [s]	Wartość chłonności akustycznej A [m^2]	Średnia wartość współczynnika pochłaniania dźwięku α_{sr}	K [dB]
1	A	1,9	860	0,21	3,7
2	C	1,5	380	0,20	5,9
3	D	1,9	850	0,21	1,5

Zgodnie z zależnością (1) obliczono różnicę poziomów D . Jej wartość odpowiada rzeczywistej skuteczności obudowy przy uwzględnieniu źródeł hałasu związanych z maszyną, a zlokalizowanych poza obudową maszyny (np. rozwijak). Uwzględnienie poprawki K pozwoliło na uniezależnienie otrzymanych wyników od wpływu akustyki hali. Rozkład wartości różnicy poziomów dźwięku D badanej obudowy pokazano na rys. 3

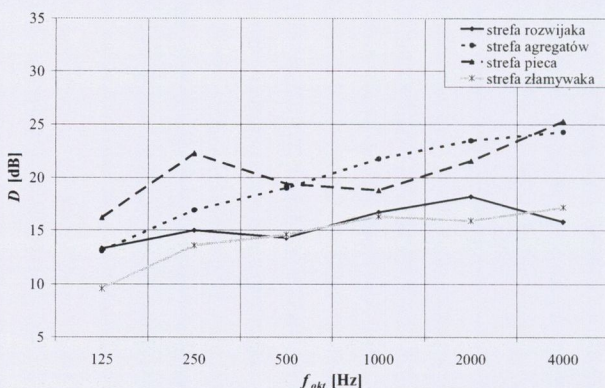
Obudowa charakteryzuje się dość wyrównanym rozkładem wartości różnicy poziomów w poszczególnych strefach. Najmniejsze wartości (ok. $15 \div 16\text{dB}$) występują w miejscach lokalizacji nie obudowanych podzespołów maszyny oraz tam, gdzie obudowa posiada przepusty technologiczne. Największe wartości (ok. $21 \div 22\text{dB}$) występują w strefach, w których obudowa ma charakter litej ściany (bez powierzchni przeszklonych, drzwi, bram i przepustów).

W wybranych strefach obudowy zbadano zależność wartości różnicy poziomów od częstotliwości. Wyniki analizy pokazano na rys. 4.



Rys. 3. Wartości różnicy poziomów D (w dB) obudowy akustycznej w poszczególnych strefach

Fig. 3. The values of the differences of level D (in dB) of acoustic enclosure in particular areas



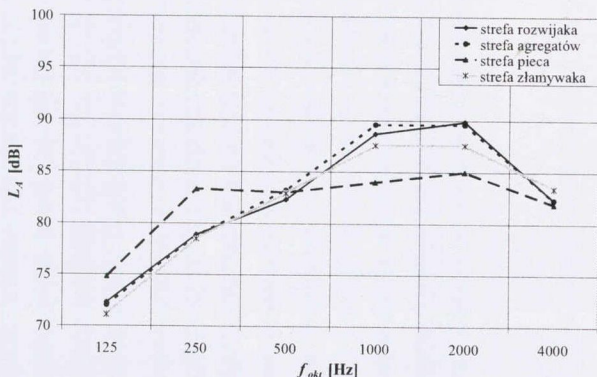
Rys. 4. Wartości różnicy poziomów D w funkcji częstotliwości, dla wybranych stref obudowy

Fig. 4. The values of the differences of level D as a function of frequency for selected enclosure areas

Na wykresie z rys. 4 można zaobserwować wzrost skuteczności obudowy wraz ze zwiększaniem częstotliwości. Wartości różnicy w przypadku stref rozwijaka i złamywaka są niższe ze względu na zlokalizowane w tych strefach podzespoły maszyny znajdujące się poza obudową, co wiąże się z koniecznością stosowania w tych strefach przepustów. W analizowanej osłonie przepusty nie są adaptowane akustycznie.

Charakterystyka pokazana na rys. 4 dobrze odpowiada charakterowi hałasu emitowanego przez maszynę, którego najwyższe wartości występują w zakresie 1000 + 2000 Hz, co obrazują charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowe z rys. 5, zarejestrowane w poszczególnych obszarach we wnętrzu obudowy.

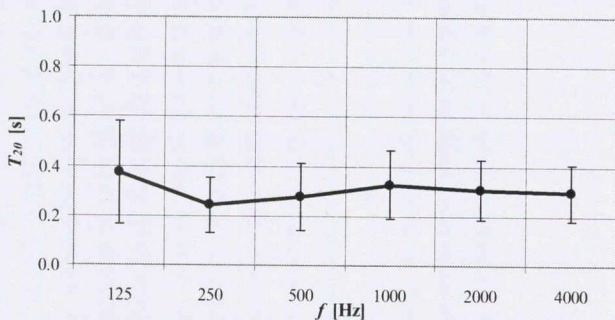
W celu uzyskania dużej wartości chłonności akustycznej, powierzchnia wewnętrzna analizowanej obudowy jest adaptowana akustycznie, dzięki czemu minimalizuje się wpływ obudowania maszyny na wzrost poziomu hałasu w bezpośrednim jej otoczeniu (we wnętrzu obudowy). W przypadku konieczności wejścia do wnętrza w trakcie ruchu maszyny pracownik nie będzie narażony na oddziaływanie tak wysokiego poziomu hałasu, jak w przypadku obudowy bez adaptacji akustycznej wnętrza.



Rys. 5. Analiza oktawa poziomu dźwięku w wybranych strefach wewnątrz obudowy

Fig. 5. Octave analysis of sound levels in some areas inside the enclosure

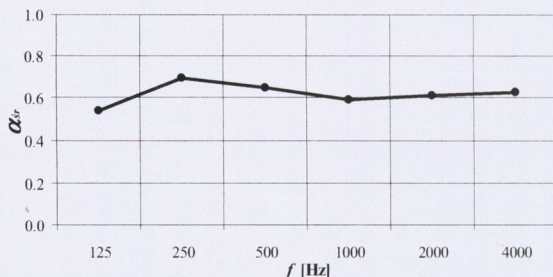
W celu weryfikacji osiągniętych rezultatów wykonano również pomiary czasu pogłosu we wnętrzu obudowy i, korzystając z zależności Eyringa [5], oszacowano wartość średniego współczynnika pochłaniania dźwięku wnętrza obudowy. Wykonano 10 pomiarów czasu pogłosu w różnych lokalizacjach we wnętrzu. Otrzymane wyniki pomiarów wraz z ich odchyleniem standardowym pokazano na rysunku 6. Na rysunku 7 zaprezentowano wartości średniego współczynnika pochłaniania dźwięku wnętrza obudowy. Wartości te zawierają się w zakresie od około 0,55 do ok. 0,7 i w małym stopniu zależą od częstotliwości. Takie właściwości akustyczne pozwalają na uzyskanie wartości promienia granicznego wynoszącego około 6 m. Oznacza to, że na osoby znajdujące się we wnętrzu obudowy wpływ dźwięków odbitych jest niewielki.



Rys. 6. Średnie wartości czasu pogłosu wnętrza obudowy w funkcji częstotliwości

Fig. 6. Mean values of reverberation time inside the enclosure as a function of the frequency

Biorąc pod uwagę wyniki pomiarów poziomu dźwięku wewnątrz obudowy (tabela 3) oraz uwzględniając właściwości akustyczne wnętrza, szacowana wartość zastępczego poziomu mocy akustycznej całej maszyny $L_{WA,z}$ wynosi ok. 118 dB.



Rys. 7. Wartości średnie współczynnika pochłaniania dźwięku wewnątrz obudowy w funkcji częstotliwości

Fig. 7. The mean values of sound absorption coefficient of the enclosure as a function of frequency

4. Analiza zagrożenia hałasem w wybranych strefach pracy po zainstalowaniu obudowy maszyny offsetowej

Analiza zagrożenia hałasem w poszczególnych strefach pracy obsługi maszyn zlokalizowanych w przedmiotowej hali wykazała niekorzystny wpływ zainstalowania nowej maszyny. W niniejszym rozdziale przedstawiono analizę wykonaną po wyposażeniu maszyny w pełną obudowę akustyczną. Pomiary wykonano w tych samych strefach, w których wykonywane były pomiary dla przypadku bez obudowy. Wyniki pomiarów hałasu emitowanego przez nową maszynę, po wyposażeniu jej w obudowę, zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Wartości poziomu dźwięku w strefach pracy – emisja maszyny z zainstalowaną obudową

L.p.	Oznaczenie strefy wg rys. 1	Wartość średnia poziomu dźwięku w analizowanej strefie $L_{A_{sr}}$ [dB]	Zakres wartości poziomu dźwięku w analizowanej strefie $L_{min} \div L_{max}$ [dB]
1	A1-N	77,5	77,0 ÷ 78,5
2	A1-O	76,5	75,0 ÷ 77,5
3	NO-R	81,0	79,0 ÷ 82,0
4	NO-SZ	76,0	74,0 ÷ 79,0
5	A2-N	73,5	73,0 ÷ 74,0
6	A2-O	73,5	73,0 ÷ 74,0
7	O1-R	76,5	75,0 ÷ 79,0
8	O1-SZ	75,0	74,0 ÷ 76,0

Porównując wartości zmierzone dla maszyny z obudową do wartości bez obudowy można obliczyć efekty zainstalowania obudowy w postaci średnich wartości redukcji poziomu dźwięku w poszczególnych strefach pracy obsługi. Instalacja obudowy spowodowała zmniejszanie emisji hałasu o wartość od 10dB do 13dB. Wartości średnie poziomu dźwięku dla przypadku emisji nowej maszyny bez obudowy oraz efekt zainstalowania obudowy, w poszczególnych strefach obsługowych maszyn, pokazano w tabeli 6.

Tabela 6

Wartości średnie poziomu dźwięku dla przypadku emisji nowej maszyny bez obudowy oraz zmniejszenie poziomu dźwięku w strefach pracy operatorów sąsiednich maszyn w wyniku zastosowania obudowy

Lp.	Oznaczenie strefy wg rys. 1	Wartość średnia poziomu dźwięku w analizowanej strefie L_{Asr} [dB]	Wartość redukcji poziomu dźwięku w analizowanej strefie ΔL_A [dB]
1	A1-N	91,5	12,5
2	A1-O	91,0	12,0
3	NO-R	91,0	10,0
4	NO-SZ	90,0	13,0
5	A2-N	87,0	12,5
6	A2-O	87,0	12,5
7	O1-R	89,5	13,0
8	O1-SZ	88,0	13,0

Z otrzymanych rezultatów pomiarów wynika, że maszyna wyposażona w obudowę akustyczną emituje hałas nie powodujący przekroczenie wartości dopuszczalnej 85 dB w żadnej z analizowanych stref maszyn sąsiednich. Porównując zmierzone wartości hałasu emitowanego przez nową maszynę L_{NO} z wartością dopuszczalną L_{dop} , korzystając z zależności (4), obliczono najwyższe wartości poziomu dźwięku pochodzącego od pozostałych źródeł hałasu zlokalizowanych w analizowanej hali L_T . Wyniki obliczeń zawarto w tabeli 7.

$$L_T = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_{dop}} - 10^{0,1 \cdot L_{NO}}) \text{ dB} \quad (4)$$

Tabela 7

Najwyższe wartości poziomu dźwięku w analizowanych strefach, pochodzące od pozostałych źródeł hałasu

L.p.	Oznaczenie strefy	Sumaryczna wartość równoważnego poziomu dźwięku w analizowanej strefie – L_T [dB]
1	A1-N	84,1
2	A1-O	84,3
3	NO-R	82,8
4	NO-SZ	84,4
5	A2-N	84,7
6	A2-O	84,7
7	O1-R	84,3
8	O1-SZ	84,5

Otrzymane wartości potwierdzają niewielki wpływ analizowanej maszyny na możliwość przekroczenia wartości dopuszczalnej.

5. Podsumowanie

W ramach pracy dokonano weryfikacji parametrów akustycznych obudowy, w którą została wyposażona nowa maszyna drukująca. Przeanalizowano także wpływ zainstalowania nowej maszyny wyposażonej w obudowę akustyczną na rozkład poziomu hałasu w strefach pracy zlokalizowanych w hali przemysłowej.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników można stwierdzić, że:

- parametry akustyczne wykonanej pełnej obudowy akustycznej maszyny dobrze odpowiadają poziomowi i charakterystyce częstotliwościowej hałasu emitowanego przez maszynę, co potwierdzono pomiarami,
- skuteczność obudowy mierzona jako różnica poziomu dźwięku D przyjmuje wartości z zakresu 15dB do 22dB (wartość średnia wynosi ok. 18dB); zwiększa się ona wraz ze wzrostem częstotliwości, co dobrze odpowiada charakterystyce częstotliwościowej hałasu maszyny,
- dzięki zastosowaniu skutecznej adaptacji akustycznej wnętrza obudowy (współczynnik pochłaniania dźwięku ok. 0,6 w całym rozpatrywanych zakresie częstotliwości), zwiększenie poziomu dźwięku w jej wnętrzu jest stosunkowo niewielkie (poniżej 3dB),
- zastosowanie obudowy dla nowej maszyny powoduje obniżenie poziomu dźwięku w strefach pracy obsługi maszyn sąsiednich o wartość od 10 dB do 13 dB; przy takich wartościach redukcji hałasu w żadnej strefie nie stwierdzono wystąpienia przekraczania poziomu dopuszczalnego,
- podzespoły nowej maszyny zlokalizowane na zewnątrz obudowy (rozwiłk, przenośniki, sztaplarka) charakteryzują się stosunkowo niskimi poziomami mocy akustycznej, dlatego też nie wpływają znacząco na poziom dźwięku w analizowanych strefach,
- wartość poziomu hałasu emitowana przez maszynę wyposażoną w obudowę akustyczną jest na tyle niska, że o możliwości przekroczenia dopuszczalnej wartości poziomu dźwięku w poszczególnych strefach analizowanej hali decyduje przede wszystkim hałas emitowany przez pozostałe źródła (tabela 7),
- pełna obudowa akustyczna maszyny drukującej jest kompleksowym rozwiązaniem technicznym chroniącym pracowników obsługi tej maszyny, jak i pracowników w strefach hali zlokalizowanych w otoczeniu, i mimo dość wysokich kosztów jest to rozwiązanie polecane.

Literatura

- [1] Czerwiński A., Dziechciowski Z., Krawczyk J.: *Koncepcja obniżenia poziomu hałasu na stanowiskach pracy w przemyśle poligraficznym*, Iwanowski Gosudarstwiennyj Chimikotechnologiczskij Uniwersitet, Iwanowo, (2010), 214-223.
- [2] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem*, PWN, Warszawa 2001.
- [3] Engel Z., Sadowski J., Szudrowicz B., Żuchowicz-Wodnikowska I.: *Wytyczne projektowania ochrony przeciwhałasowej stanowisk pracy w halach przemysłowych*, Wydawnictwo CIOP, Warszawa 1993.
- [4] Engel Z., Sikora J.: *Obudowy dźwiękochłonne – izolacyjne. Podstawy projektowania i stosowania*, Wydawnictwo AGH, Kraków 1998.
- [5] Sadowski J.: *Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie*, Arkady, Warszawa 1971.
- [6] PN-EN ISO 3382-2:2010 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.