

KATARZYNA BORKOWSKA-CZARNECKA<sup>1</sup>, ANDRZEJ CZERWIŃSKI,  
ZYGMUNT DZIECHCIOWSKI<sup>2</sup>

## ANALIZA WPLYWU ZAINSTALOWANIA NOWEJ MASZYNY DRUKUJĄCEJ NA KLIMAT AKUSTYCZNY W HALI PRODUKCYJNEJ DRUKARNI

### ANALYSIS OF INFLUENCE OF NEW PRINTING PRESS INSTALLATION ON A ACOUSTIC CLIMATE IN A PRESS ROOM OF A PRINTING HOUSE

#### Streszczenie

W pracy zajęto się problematyką hałasu w przemyśle poligraficznym. W ramach pracy przeprowadzono analizę, której celem jest określenie wartości poziomu hałasu emitowanego przez nową maszynę zainstalowaną na hali i dobór dla niej zabezpieczenia akustycznego o odpowiedniej skuteczności. Dodatkowo przeanalizowano czy umiejscowienie dużej obudowy nie wpłynie w niekorzystny sposób na poziom hałasu pochodzący od maszyn zainstalowanych obecnie. Wykonane obliczenia przeprowadzono dla powierzchni zewnętrznej obudowy o różnych wartościach współczynnika pochłaniania dźwięku.

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

#### Abstract

This paper deal with problem of noise in the printing industry. In this work was done analysis, which aims was to determinate the noise level value emitted by of the new printing press installed in the press room and to select an acoustic protection which have a suitable effectiveness. In addition, it was analyzed if the location of a large enclosure does not adversely influence on the noise level coming from the printing press currently installed. The calculations were performed for the exterior surfaces with different values of sound absorption coefficient.

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

<sup>1</sup> Mgr inż. Katarzyna Borkowska-Czarnecka, RR Donnelley Europe, sp. z o.o., Kraków.

<sup>2</sup> Mgr inż. Andrzej Czerwiński, dr inż. Zygmunt Dziechciowski, Politechnika Krakowska.



## 1. Wstęp

Rozmieszczenie maszyn o dużej aktywności akustycznej powinno być poprzedzone analizą, której celem jest określenie wpływu ich lokalizacji na klimat akustyczny na hali, na której maszyny mają być zainstalowane. W ten sposób już na tym etapie projektu można przewidzieć, czy w danych strefach obsługowych maszyny będzie występować zagrożenie ponadnormatywnym hałasem. Analiza taka powinna być przeprowadzona również w sytuacji instalowania na danej hali dodatkowych maszyn. Można w ten sposób określić ich wpływ na klimat akustyczny panujący na hali produkcyjnej, łącznie z ewentualnymi zaprojektowanymi dla nich zabezpieczeniami akustycznymi.

Obudowa akustyczna, ma za zadanie ograniczenie transmisji energii akustycznej pochodzącej od adaptowanej akustycznie maszyny [1]. Dochodzi do tego dodatkowy aspekt, mianowicie obudowa może stać się ekranem na drodze propagacji fali dźwiękowej powstałej w wyniku pracy pozostałych maszyn znajdujących się na hali produkcyjnej. Ten czynnik może stać się bardzo istotny z punktu widzenia ochrony stanowisk pracy. Należy także pamiętać o tym, że obudowa akustyczna może stać się elementem hali wywołującym niekorzystne efekty, np. zwiększając lokalnie poziom dźwięku na hali w wyniku zjawiska odbicia dźwięku. W takich wypadkach może ona wymagać dodatkowej adaptacji akustycznej.

W niniejszych pracy przedstawiono analizę wpływu nowo zainstalowanej maszyny, na klimat akustyczny panujący na hali maszyn drukujących. Analiza została przeprowadzona na przykładzie nowej maszyny, która została zainstalowana na hali produkcyjnej drukarni RR Donnelley w Krakowie. Jednym z celów tej analizy jest określenie wartości poziomu hałasu emitowanego przez nową maszynę i dobór dla niej zabezpieczenia akustycznego o odpowiedniej skuteczności. Dodatkowo przeanalizowano czy umiejscowienie dużej obudowy nie wpłynie w niekorzystny sposób na poziom hałasu pochodzący od maszyn zainstalowanych obecnie. Wykonane obliczenia przeprowadzono dla powierzchni zewnętrznej obudowy o różnych wartościach współczynnika pochłaniania dźwięku (odbijająca oraz pochłaniająca).

## 2. Opis hali

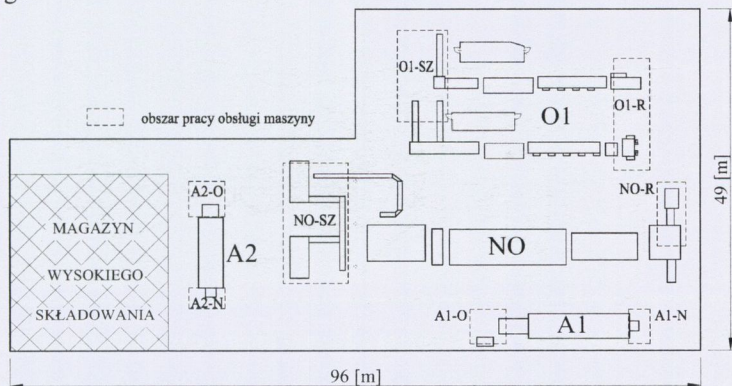
Rzut hali, w której zainstalowano nową maszynę, wraz z rozmieszczeniem znajdujących się w niej maszyn, pokazano na rys. 1. Hala ma wymiary (długość×szerokość×wysokość): 96×49×7 m. W analizowanej hali znajdują się trzy maszyny drukujące rolowe (dwie maszyny rolowe O1 i nowo zainstalowana maszyna rolowa NO) i dwie maszyny drukujące arkuszowe (A1 i A2).

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, w którym znajduje się maszyna arkuszowa A2 zajęta jest przez magazyn wysokiego składowania. Wszystkie te elementy wpływają na wartość chłonności akustycznej analizowanej hali, zwłaszcza w zakresie niskich częstotliwości.

Pomieszczenie nie posiada dodatkowej adaptacji akustycznej wnętrza. Ściany pomieszczenia 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. Lokalizacja maszyn drukujących oraz stref pracy wokół w analizowanej hali

Fig. 1. Location of press printing and work zones around the analysed press room

### 3 Analiza zagrożenia hałasem w wybranych strefach pracy w otoczeniu nowo zainstalowanej maszyny drukującej

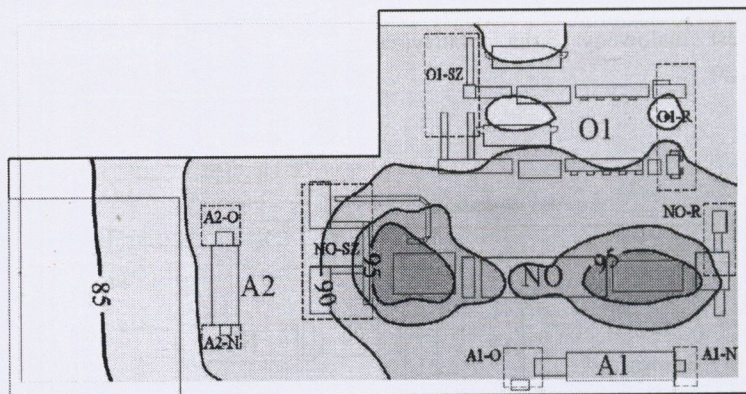
Jak napisano w punkcie 2, nowa maszyna offsetowa została zainstalowana w pustej strefie pomiędzy istniejącymi maszynami, tj. maszynami rolowymi O1 i maszynami arkuszowymi A1 i A2. Maszyna ta, z uwagi na dużą wartość poziomu mocy akustycznej niektórych jej podzespołów (złamywak, agregaty farbowe), wpływa na poziom hałasu w strefach przebywania pracowników obsługi sąsiadujących maszyn.

W niniejszym rozdziale przedstawiono analizę wpływu pracy nowej maszyny na stopień narażenia pracowników przebywających w jej sąsiedztwie. Poddane analizie strefy obsługi maszyn pokazano na rysunku 1.

Analizowane strefy zlokalizowane są 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).

Po zainstalowaniu i uruchomieniu maszyny rolowej NO przeprowadzono pomiary równoważnego poziomu dźwięku, będącego skutkiem emisji hałasu przez jej podzespoły. Wyniki pomiarów w postaci mapy rozkładu poziomu dźwięku pokazano na rys. 2. W tabeli 1 zestawiono wartości zmierzone w poszczególnych strefach pracy w analizowanej hali produkcyjnej.





Rys. 2. Rozkład hałasu pochodzącego od nowej maszyny w analizowanej hali

Fig. 2. Noise level distribution from the new printing press in the analyzed press room

Tabela 1

**Wartości poziomu dźwięku w strefach pracy – emisja nowej maszyny rolowej**

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 $L_{A,min} \div L_{A,max}$ [dB]
1	A1-N	91,5	91,0 ÷ 92,5
2	A1-O	91,0	90,5 ÷ 91,5
3	NO-R	91,0	90,5 ÷ 92,0
4	NO-Sz	90,0	88,0 ÷ 94,0
5	A2-N	87,0	86,5 ÷ 87,5
6	A2-O	87,0	86,5 ÷ 87,5
7	O1-R	89,5	87,5 ÷ 91,5
8	O1-Sz	88,0	87,0 ÷ 89,0

Dopuszczalna wartość równoważnego poziomu dźwięku  $L_{Aeq}$ , w przypadku pracowników obsługujących maszyny drukujące, wynosi 85dB [4]. Zakładając, że pracownik przebywa cały czas w analizowanych strefach, najwyższa wartość poziomu dźwięku nie powinna tej wartości przekroczyć. Przy takim założeniu, zgodnie z wartościami zawartymi w tabeli 1, hałas emitowany przez analizowaną maszynę powoduje przekroczenia wartości dopuszczalnej w każdej z rozpatrywanych stref. Wartości przekroczeń w poszczególnych strefach zestawiono w tabeli 2.

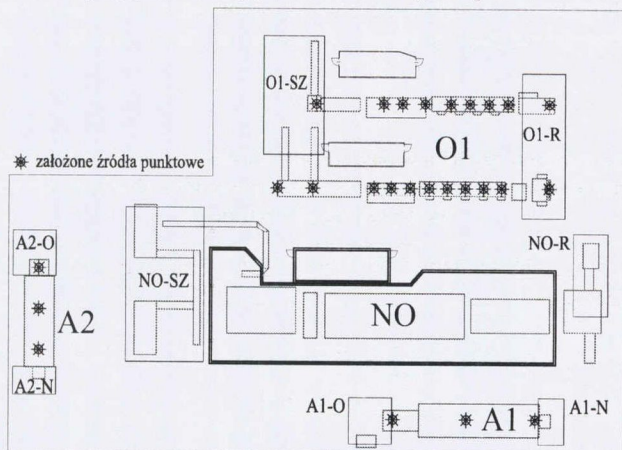
Jak można zauważyć uruchomienie nowej maszyny w znaczny sposób wpływa na klimat akustyczny w analizowanej hali. Nowe źródła hałasu powodują przekroczenia wartości dopuszczalnej w zakresie od 2 dB do ponad 6 dB.

Należy również zaznaczyć, że zestawione w tabeli 2 przekroczenia wynikają wyłącznie z pracy nowej maszyny i nie uwzględniają pracy pozostałych maszyn, których hałas może je dodatkowo zwiększyć.

Przekroczenia wartości dopuszczalnej spowodowane emisją nowej maszyny

Lp.	Oznaczenie strefy	Przekroczenia wartości dopuszczalnej równoważnego poziomu dźwięku w analizowanej strefie [dB]
1	A1-N	6,5
2	A1-O	6,0
3	NO-R	6,0
4	NO-SZ	5,0
5	A2-N	2,0
6	A2-O	2,0
7	O1-R	4,5
8	O1-SZ	3,0

Z uwagi na możliwość przekroczeń wartości dopuszczalnych w strefach hali produkcyjnej (rys. 1), będących skutkiem pracy nowej maszyny drukującej, podjęto decyzję o adaptacji akustycznej maszyny. Ze względu na duże gabaryty i wysoki poziom mocy akustycznej podzespołów nowej maszyny oraz biorąc pod uwagę ukształtowanie powierzchni ograniczających halę postanowiono wykonać pełną obudowę akustyczną maszyny drukującej. Obudowa została zaprojektowana tak, by objęła wszystkie istotne źródła hałasu analizowanej maszyny (złamywak, agregaty farbowe, piec). Poza obudową pozostawiono podzespoły o niskiej hałaśliwości (rozwiłk, sztaplarka z przenośnikami taśmowymi), które wymagają ciągłej obsługi przez pracowników. Kształt rzutu projektowanej obudowy i jej lokalizację w analizowanej hali przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Lokalizacja projektowanej obudowy oraz głównych źródeł hałasu maszyn sąsiednich

Fig. 3. Location of the designed enclosure and the main noise sources of neighboring machine

Projektowana obudowa zajmuje stosunkowo dużą powierzchnię hali produkcyjnej, w związku z czym jej wpływ na istniejący klimat akustyczny może być znaczący.



Wprowadzenie dodatkowych powierzchni odbijających dźwięk może być powodem zwiększenia poziomu dźwięku w strefach obsługowych maszyn. Z drugiej strony zaprojektowana obudowa całkowicie zamyka przestrzeń pomiędzy podłogą a sufitem hali, a więc stanowi barierę ekranującą, która powoduje wzajemne ekranowanie maszyn zainstalowanych na hali (maszyn O1, A1 i A2).

W celu oszacowania wpływu obudowy na zmianę poziomu hałasu w strefach pracy ww. maszyn (bez uwzględnienia pracy nowej maszyny NO) wykonano obliczenia akustyczne przy pomocy programu CARA PLUS, który wykorzystuje metodę źródeł pozornych. Podzespoły maszyn zamodelowano w sposób uproszczony przy wykorzystaniu punktowych źródeł wszechkierunkowych. Założono następujące źródła hałasu: dla pierwszej maszyny ze strefy O1 – zespoły farbowe – 5 źródeł, piec – 3 źródła, złamywak – 2 źródła; dla drugiej maszyny ze strefy O1 – zespoły farbowe – 4 źródła, piec – 3 źródła, złamywak – 1 źródło; dla maszyn arkuszowych A1 i A2 (po trzy źródła) – nakładak, zespoły farbowe i wykładak. Lokalizację punktowych źródeł hałasu w analizowanej hali pokazano na rys. 3. Wzajemną relację poziomów mocy akustycznej poszczególnych podzespołów maszyn ustalono na podstawie pomiarów. Współczynniki pochłaniania dźwięku materiałów powierzchni ograniczających hali założono jako typowe, a następnie modyfikowano je w celu osiągnięcia żądanej wartości czasu pogłosu, który dla analizowanej hali wynosi około 2 sekund.

Eksperyment numeryczny poległ na badaniu wpływu zainstalowania obudowy o przewidywanym kształcie, przy pracującej tylko jednej wybranej maszynie (O1 lub A1, lub A2). Określono wartości różnic poziomu dźwięku w poszczególnych strefach pracy, jako dodatkowy efekt zainstalowania obudowy w przedmiotowej hali. Obliczenia wykonano dla dwóch wariantów adaptacji zewnętrznych ścian obudowy akustycznej nowej maszyny. W pierwszym przypadku przyjęto wartość średniego współczynnika pochłaniania dźwięku równą 0,1, a w drugim – 0,8. Otrzymane wartości zestawiono w tabelach 3 oraz 4. Wartości dodatnie świadczą o redukcji poziomu dźwięku w danej strefie, a ujemne o jego zwiększeniu.

Tabela 3

**Wartości różnic poziomu dźwięku w poszczególnych strefach pracy, jako dodatkowy efekt zainstalowania obudowy w przedmiotowej hali – przypadek obudowy bez pochłaniacza akustycznego zewnętrznego**

Maszyna	Zmiana wartości poziomu dźwięku $\Delta L_A$ [dB] w strefach pracy							
	A1-N	A1-O	A2-N	A2-O	O1-R	O1-SZ	NO-R	NO-SZ
A1	-1,3 (-1,7÷-0,8)	-1,2 (-1,8÷-0,5)	-0,7 (-0,7÷-0,6)	3,0 (2,4÷2,6)	5,4 (4,6÷5,9)	8,2 (7,5÷9,2)	1,3 (0,7÷2,2)	7,8 (-0,5÷12,7)
A2	0,9 (0,8÷0,9)	0,3 (0,1÷0,4)	-0,1 (-0,1÷-0,1)	-0,2 (-0,4÷-0,1)	4,6 (3,7÷5,7)	2,1 (1,4÷2,8)	4,6 (4,3÷4,8)	-0,8 (-1,4÷-0,5)
O1	6,0 (5,4÷6,5)	11,0 (10,5÷11,5)	5,0 (4,7÷5,2)	1,3 (1,1÷1,5)	-1,1 (-1,5÷-0,8)	-0,8 (-0,9÷-0,3)	-0,2 (-0,9÷0,6)	8,4 (-1,3÷15,1)

Z analizy otrzymanych wartości wynika, że niekorzystny wpływ zainstalowania obudowy (ujemne wartości redukcji) jest niewielki. Występuje on głównie dla przypadku oddziaływania hałasu maszyny na pracowników ją obsługujących (pola wyróżnione w tabelach 3 i 4) oraz w przypadku stref pracy innych maszyn zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie pracującej maszyny. Efekt ten jest spowodowany odbiciami od



powierzchni obudowy i nie występuje on w przypadku analizy obudowy o adaptowanych akustycznie ścianach zewnętrznych.

Tabela 4

**Wartości różnic poziomu dźwięku w poszczególnych strefach pracy, jako dodatkowy efekt zainstalowania obudowy w przedmiotowej hali – przypadek obudowy z pochłaniaczem akustycznym zewnętrznym**

Maszyna	Zmiana wartości poziomu dźwięku $\Delta L_A$ [dB] w strefach pracy							
	A1-N	A1-O	A2-N	A2-O	O1-R	O1-SZ	NO-R	NO-SZ
A1	0,0 (0,0±0,0)	0,0 (0,0±0,0)	1,6 (1,5±1,7)	9,2 (7,8±10,6)	10,0 (8,9±10,8)	13,9 (12,5±15,2)	5,6 (4,5±6,7)	13,3 (2,0±16,2)
A2	4,7 (4,6±4,8)	2,9 (2,6±3,3)	0,0 (0,0±0,0)	0,0 (0,0±0,0)	7,3 (5,7±9,2)	3,7 (2,4±4,7)	8,9 (8,4±9,8)	0,1 (-0,1±0,4)
O1	9,2 (8,5±9,8)	20,5 (19,9±21,1)	6,8 (6,5±7,1)	2,3 (2,1±2,5)	0,1 (0,0±0,2)	-0,1 (-0,2±-0,1)	1,1 (0,5±2,2)	9,7 (0,3±15,7)

Korzystny efekt, wynikający z wzajemnego ekranowania maszyn, zależy od przyjętego wariantu adaptacji ścian obudowy tym silniej, im dana para maszyn jest bardziej wzajemnie ekranowana (np. wpływ hałasu maszyny O1 na strefę A1-O zlokalizowaną po przeciwnej stronie planowanej obudowy, przy zmianie wariantu adaptacji, zmienia się o ponad 9 dB). W przypadku gdy wzajemna lokalizacja źródeł hałasu i stref pracy zapewnia jedynie częściowe ekranowanie wpływ wariantu adaptacji jest zdecydowanie mniejszy (1 ÷ 3 dB).

Szpecólnie duże znaczenie, ze względu na znaczny poziom mocy akustycznej, może mieć efekt ekranowania hałasu maszyn rolowych (O1) w strefach pracy maszyn arkusowych (A1 i A2) oraz w strefach pracy nowej maszyny zlokalizowanych poza obudowę. Największy efekt ekranowania wystąpi w przypadku stref pracy maszyny A1 (od ok. 5 dB do ok. 11 dB w przypadku powierzchni nie adaptowanych). W przypadku maszyny A2 redukcja poziomu hałasu zawiera się w granicach od ok. 1 dB do ok. 5 dB. Ze względu na bezpośrednie sąsiedztwo strefy rozwijaka nowej maszyny z podzespołami maszyn O1 nie prognozuje się tu istotnego wpływu zainstalowania obudowy. W przypadku strefy sztaplarki nowej maszyny wpływ obudowy na zmianę poziomu dźwięku jest silnie zależny od lokalizacji punktu obserwacji. W miejscach zlokalizowanych w pobliżu maszyn O1 redukcja nie występuje lub występuje nawet efekt niewielkiego zwiększenia poziomu dźwięku (dla obudowy nie adaptowanej). W miejscach oddalonych do maszyn O1 redukcja poziomu dźwięku maksymalnie może osiągnąć wartość ok. 15 dB. Informacja ta stanowi przesłankę do odpowiedniej lokalizacji miejsc pracy (w ramach rozpatrywanej strefy).

## 6. Podsumowanie

W ramach pracy przeanalizowano wpływ zainstalowania nowej maszyny drukującej na rozkład poziomu hałasu w strefach pracy zlokalizowanych w hali przemysłowej. Wykonano prognozę wpływu zainstalowania obudowy na propagację dźwięku pomiędzy strefami poszczególnych maszyn. Przeprowadzono również prognozowanie możliwości zwiększenia poziomu dźwięku w strefach obsługowych maszyn.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników można stwierdzić że:



- zainstalowanie nowej dużej maszyny drukującej powoduje pogorszenie warunków pracy oraz wywołuje przekroczenia dopuszczalnych wartości poziomu dźwięku (85 dB), nawet w oddalonych częściach analizowanej hali produkcyjnej; wartości przekroczeń zwierają się w granicach od 2 dB (w strefie maszyny arkuszowej A2) do ponad 6 dB (w strefie maszyny A1),
- ze względu na wartości przekroczeń dopuszczalnego poziomu dźwięku konieczne jest wyposażenie maszyny w pełną obudowę akustyczną o skuteczności (mierzonej miarą redukcji poziomu dźwięku w poszczególnych strefach pracy) rzędu kilkunastu decybeli; taka wartość redukcji ograniczy do minimum wpływ analizowanej maszyna na możliwość przekroczenia wartości dopuszczalnej,
- zainstalowanie obudowy o znacznych gabarytach powoduje powstanie nowych powierzchni odbijających dźwięk zlokalizowanych stosunkowo blisko analizowanych stref pracy; w wyniku dodatkowych odbić wartość poziomu dźwięku może zostać zwiększona; na podstawie przeprowadzonej symulacji komputerowej można stwierdzić że poziomu dźwięku może wzrosnąć w niewielkim stopniu (do ok 1 dB),
- przeanalizowano efekt ekranowania maszyn, będący wynikiem zainstalowania obudowy nowej maszyny; stwierdzono możliwość redukcji poziomu dźwięku pochodzącego od maszyn rolowych O1 o wartość od ok. 5 dB do ok. 11 dB w przypadku stref pracy maszyny A1, oraz od ok. 1 dB do ok. 5 dB w przypadku stref pracy maszyny A2,
- efekt redukcji poziomu dźwięku może wzrosnąć w przypadku zwiększenia chłonności akustycznej ścian obudowy, poprzez zastosowanie adaptacji akustycznej jej powierzchni zewnętrznych; dodatkową korzyścią potwierdzoną wynikami obliczeń jest minimalizacja zagrożenia wzrostu poziomu dźwięku na skutek odbić od powierzchni obudowy,
- strefy pracy obsługi nowej maszyny, których lokalizacja jest przewidziana poza obudową (rozwijak i sztaplarka), mogą być narażone na hałas pochodzący od pozostałych maszyn; najistotniejszy wydaje się wpływ hałasu maszyn rolowych O1, którego ekranowanie w strefie rozwijaka NO-R jest minimalne; w strefie sztaplarki wartość korzystnego wpływu obudowy silnie zależy od miejsca, w którym pracownik się znajduje, stąd istotne może być odpowiednie wyznaczenie stref pracy; wpływ hałasu maszyn arkuszowych, z uwagi na ich mniejsze wartości poziomów mocy akustycznej, wydaje się mieć mniejsze znaczenie.

## Literatura

- [1] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, PWN, Warszawa 2001.
- [2] Engel Z., Sadowski J., Szudrowicz B., Żuchowicz-Wodnikowska I.: *Wytyczne projektowania ochrony przeciwhałasowej stanowisk pracy w halach przemysłowych*, Wydawnictwo CIOP, Warszawa 1993.
- [3] Engel Z., Sikora J.: *Obudowy dźwiękochłonne – izolacyjne. Podstawy projektowania i stosowania*, Wydawnictwo AGH, Kraków 1998.
- [4] PN-94/N-01307 „Hałas – Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów”.