

Reduction of occupational noise exposure for metalworking workstations using pneumatic tools.

Bartosz Chmielewski

KFB Polska Sp. z o.o., Mydlana 7, 51-502 Wrocław, Poland

ABSTRACT

Metalworking using hand-held pneumatic tools are the cause of exceedances of permitted noise levels at the workplace. In these operations exposure is caused by emission of noise from the tool itself and the noise generated by the contact of the tool with the workpiece. The methodology of the acoustic analysis leading to the development of the acoustic guidelines, concept, design and implementation of solutions was discussed in general. This paper presents a prototype solution built by a KFB Poland team. Conceptual design, calculations and results of acoustic measurements of effectiveness of the solution were presented.

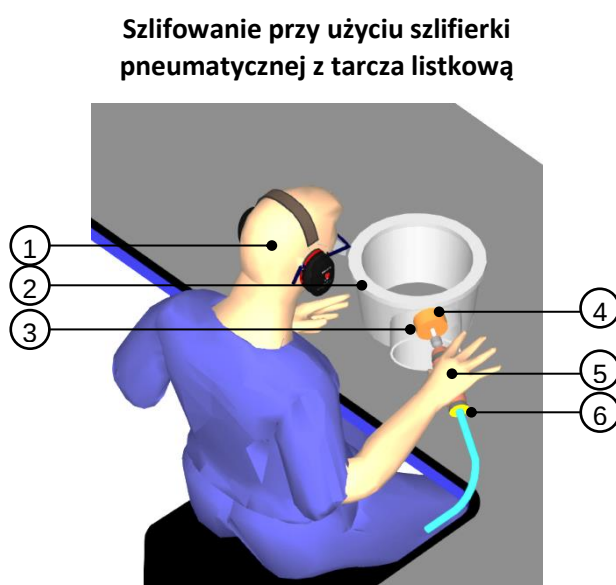
1. Wstęp

Ręczne prace ślusarskie związane z obróbką powierzchni metalowych przy użyciu narzędzi pneumatyczny obecne są zarówno w dużych zakładach produkcyjnych jak i w zwykłych warsztatach ślusarskich. Produkcja konstrukcji metalowych, oblachowania, komponentów metalowych, obróbka odlewów – wszędzie tam pojawiają się czynności takie jak szlifowanie, zaczyszczanie, gratowanie, polerowanie i cięcie. Obok spawania, czy pasowania i prostowania przy użyciu młotków są czynnościami powodującymi poziomy hałasu często znacznie przekraczające dopuszczalne wartości dziennej ekspozycji na hałas. Notowane wartości poziomu hałasu podczas tych czynności zawierają się najczęściej w zakresie od 80 do nawet 120 dB. O przekroczeniach poziomów dopuszczalnych decyduje czas ekspozycji na hałas w odniesieniu do dnia pracy. Autor w ramach wcześniejszych prac [1] analizował szczegółowo kwestie czasu ekspozycji na hałas od czynności ślusarskich i zagadnienie to pozostawia jako odrębną kwestię. W tym artykule skupiono się na notowanych poziomach równoważnych podczas trwania efektywnej czynności.

Należy zauważyć, że z pracami ręcznymi przy użyciu narzędzi pneumatycznych mamy do czynienia wszędzie tam, gdzie nie można zautomatyzować procesu lub jest to niepraktyczne. Zwykle dotyczy to produkcji, czy obróbki elementów o dużej różnorodności typów i wymiarów. Obrabiane elementy różnią się od siebie na tyle, że automatyzacja obróbki jest nieopłacalna lub mamy do czynienia z obróbką precyzyjną, gdzie kontrola jakościowa

odbywa się w czasie czynności. Okresowa ocena ekspozycji na hałas w takich warunkach jest utrudniona ponieważ podczas pomiaru poziomu hałasu na stanowisku pracy często notuje się różne wartości w zależności od użytych narzędzi, czy elementów obrabianych. Budzi to wątpliwości jakie jest realne narażenie pracowników na hałas między tymi badaniami.

W tej pracy zbadano czynniki wpływające na hałas emitowany podczas tego typu czynności na przykładzie zaczyszczania powierzchni przy użyciu szlifierki pneumatycznej z tarczą listkową (rysunek nr 1) i zabezpieczenia akustyczne zaprojektowane na potrzeby redukcji hałasu o różnym poziomie.



Rys 1. Szkic sytuacyjny analizowanych prac. 1 – pracownik wykonujący czynność narażony na hałas; 2 – element do obróbki; 3 – miejsce obróbki / przyłożenia narzędzia; 4 – końcówka wykonująca pracę (tarcza listkowa w przypadku szlifierki, obuch z tworzywa w przypadku młotka); 5 – narzędzie pneumatyczne; 6 – wylot powietrza narzędzia.

2. Rozwinięcie

Podczas obróbki elementów metalowych przy użyciu narzędzi pneumatycznych, czy to szlifierek czy młotków mamy do czynienia z dwoma źródłami hałasu:

1. Hałasem narzędzia obciążonego – hałas emitowany z wylotu powietrza narzędzia związany z jego budową, zmieniony w wyniku obciążenia wytwarzanego przez tarcze obciążoną w wyniku wykonywanej pracy. Wielkość wyznaczana na podstawie pomiaru bezpośredniego hałasu od narzędzia obciążonego z pominięciem hałasu technologicznego. Pomiar realizowany wg wytycznych normy ISO 15744:2002 [3] przy użyciu przyrządu do wytworzenia obciążenia lub innej metody pozwalającej na pominięcie hałasu technologicznego.

2. Hałas technologiczny – emitowany z obrabianego elementu w wyniku pobudzenia do drgań podczas szlifowania - drgania powierzchni elementu obrabianego w wyniku tarcia tarczy o powierzchnię stalową i wynikające z tego mikro udary. Wielkość zależna od:

- Konstrukcji obrabianego elementu,
- Miejsca obróbki na elemencie,
- Sposobu ustawienia elementu.

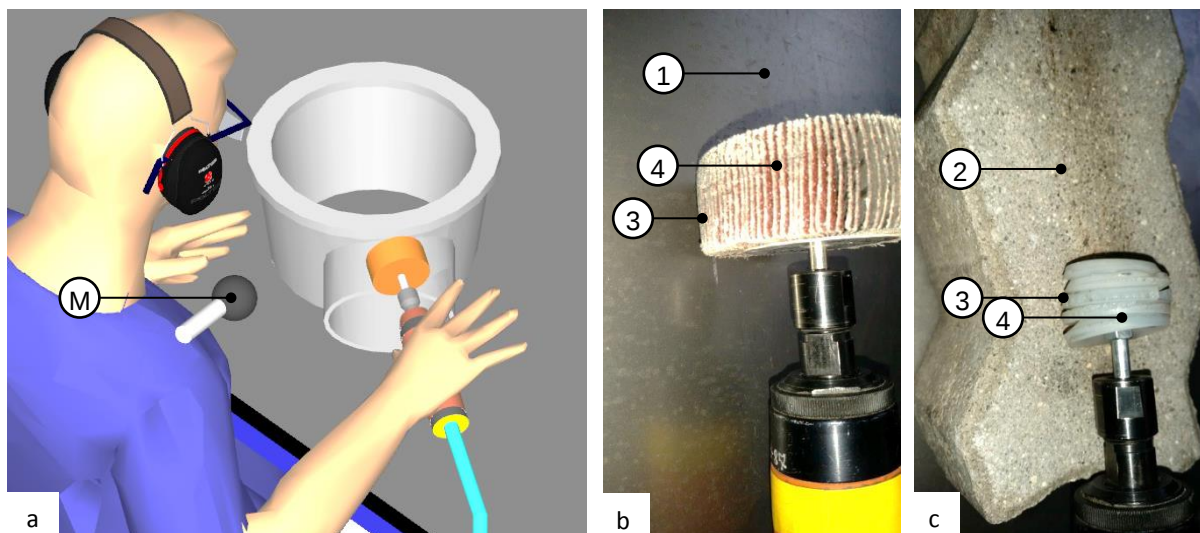
Zakłada się że można ją obliczyć jako różnicę hałasu od szlifowania tarczą listkową i hałasu od narzędzia obciążonego w tych samych warunkach.

Czynniki, o których mowa różnią się zasadniczo zmiennością hałasu w czasie czynności przez co w różnym stopniu wpływają na dzienna ekspozycję.

3. Pomiary hałasu

Przeprowadzono badanie czynności zaczyszczania powierzchni metalowych przy użyciu szlifierek pneumatycznych. W pracy takiej używając narzędzia z końcówką listkową wyrównujemy powierzchnie i usuwamy jej defekty. Wykonano serię pomiarów mających na celu określenie:

- a) wpływu miejsca obróbki na elemencie na notowane poziomy hałasu,
- b) udziału hałasu od narzędzia i drgającego elementu.

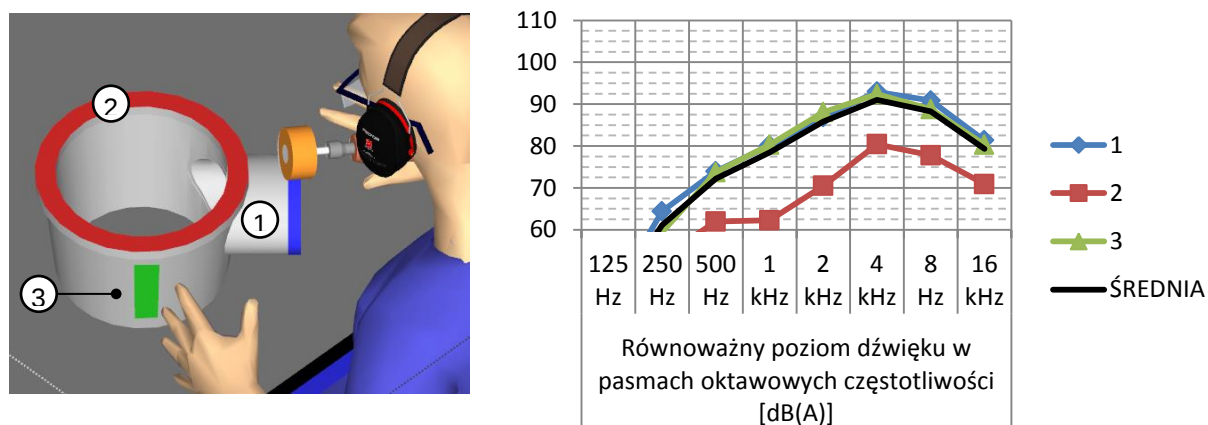


Rys 2. a) Sytuacja pomiarowa. b) Sytuacja pomiarowa do badania hałasu podczas szlifowania; c) Sytuacja pomiarowa do badania hałasu narzędzia obciążonego. M – mikrofon pomiarowy; 1 – powierzchnia metalowa podatna na drgania akustyczne; 2 – kostka brukowa nie emitująca hałasu po przyłożeniu tarczy; 3 – miejsce obróbki / przyłożenia narzędzia; 4 – końcówka wykonująca pracę (tarcza listkowa w przypadku normalnej pracy, tarcza z kół silikonowych).

Pomiary prowadzono zgodnie z metodyką dotyczącą wyznaczania zawodowej ekspozycji na hałas PN-EN ISO 9612:2011 [2] oraz przy uwzględnieniu normy dotyczącej wyznaczania poziomów hałasu narzędzi nieelektrycznych PN-EN ISO 15744:2008 [3]. Opracowano własną metodę badania hałasu narzędzia obciążonego przedstawioną na rysunku nr 2. W pomiarach uwzględniono dwa modele szlifierek pneumatycznych o prędkości obrotowej 12 tys obr/min oznaczonych symbolem A i B.

3.1. Badanie wpływu miejsca obróbki na poziom hałasu

Wykonano pomiar równoważnego poziomu hałasu na stanowisku pracy podczas zaczyszczania różnych miejsc przedstawionych na rysunku 3 (powierzchnia blachy z jedną krawędzią swobodną, obręcz grubościenna, powierzchnia blachy bez krawędzi swobodnych). Do pomiarów użyto szlifierkę A z tarczą listkową wyposażoną w dedykowany tłumik hałasu. Na rysunku nr 3 przedstawiono zmierzone wartości w pasmach oktaowych częstotliwości.



Rys. 3. Równoważny poziom hałasu na stanowisku pracy [dB(A)] w pasmach oktaowych częstotliwości w zależności od miejsca obróbki: 1 – powierzchnia blachy z jedną krawędzią swobodną ($LA_{eq} = 95,9$ dB), 2 – obręcz grubościenna ($LA_{eq} = 82,9$ dB), 3 – powierzchnia blachy bez krawędzi swobodnych ($LA_{eq} = 95,2$ dB), ŚREDNIA ($LA_{eq} = 93,9$ dB). Zaczyszczanie narzędziem B z tłumikiem na wylocie powietrza.

W zależności od tego jakie miejsce jest obrabiane uzyskano skrajnie różne wyniki. Dla miejsca nr 2 (obrócz grubościenna) uzyskano 82,9 dB natomiast dla miejsca nr 1 (powierzchnia blachy z jedną krawędzią swobodną) uzyskano 95,9 dB. Kluczowe jest zatem, które miejsce jest obrabiane. Na potrzeby oceny całego procesu zaczyszczania uwzględniającego wszystkie możliwe miejsca przyjęto, że wartość średnia z operacji wykonywanych w trzech miejscach będzie reprezentatywna dla całej czynności i można scharakteryzować całą czynność poziomem równoważnym 93,9 dB.

3.2. Badanie udziału hałasu od narzędzia i drgającego elementu

Wykonano pomiary następujących wielkości:

- a) hałasu podczas szlifowania tarczą listkową wg rysunku nr 2 b) – źródłem hałasu jest zarówno narzędzie jak i drgania elementu obrabianego w wyniku pracy tarczy listkowej,
- b) hałasu od narzędzia obciążonego wg rysunku nr 2 c) – źródłem hałasu jest tylko narzędzie obciążone w wyniku tarcia tarczy silikonowej o powierzchnię kostki brukowej. Dbano, aby charakter obciążenia odpowiadał realnemu obciążeniu podczas szlifowania. Pomiar wykonano umieszczając kostkę obciążającą narzędzie w tych samych punktach przestrzeni, gdzie prowadzono pomiary czynności.

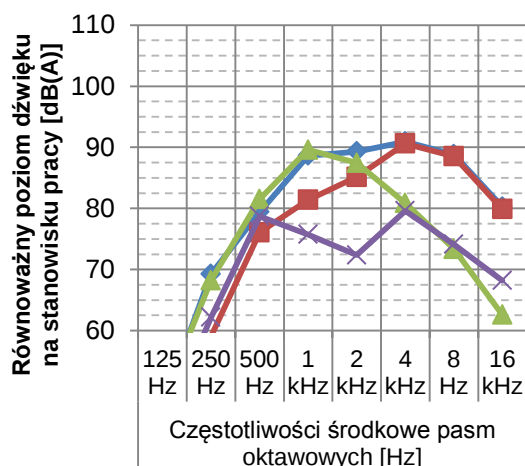
Wykonano komplet badań dla dwóch modeli narzędzi różnych producentów (A, B). Każdorazowo wykonano pomiary w trzech różnych miejscach na elemencie przedstawionym na rysunku nr 3. W każdym miejscu wykonano po trzy pomiary, tak aby wyznaczyć wartość średnią. Hałas emitowany z obrabianego elementu obliczono jako różnicę logarytmiczną średniego poziomego hałasu na stanowisku pracy podczas szlifowania i hałasu od narzędzia obciążonego.

Badania rozpatrywanych wielkości wykonano w dwóch seriach:

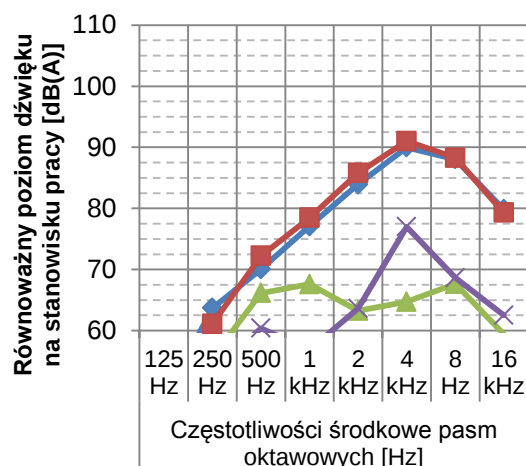
- a) narzędzia bez tłumików hałasu na wylotach powietrza,
- b) narzędzia wyposażone w tłumiki hałasu na wylotach powietrza - w narzędziu A zastosowano tłumik dedykowany, a w narzędziu B tłumik prowizoryczny wykonany w taki sposób, aby nie obciążać wylotu powietrza.

Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku nr 4. Na podstawie pomiarów możliwe było obliczenie udziału hałasu od narzędzia i od elementu podczas obróbki – rysunek nr 5. Wykonano również pomiary hałasu w takich samych warunkach jak powyżej dla narzędzia bez tarczy, pracującego jałowo bez obciążenia. Poziomy hałas narzędzia na biegu jałowym równe były: A – 88,6 dB (70,7 dB z tłumikiem); B – 84,0 dB (78,7 z tłumikiem)

a) Narzędzie bez tłumika

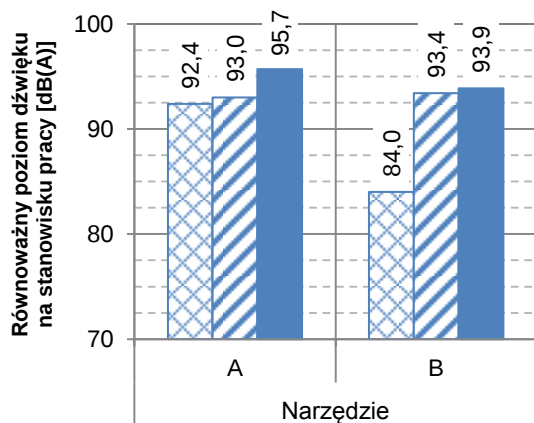


a) Narzędzie z tłumikiem

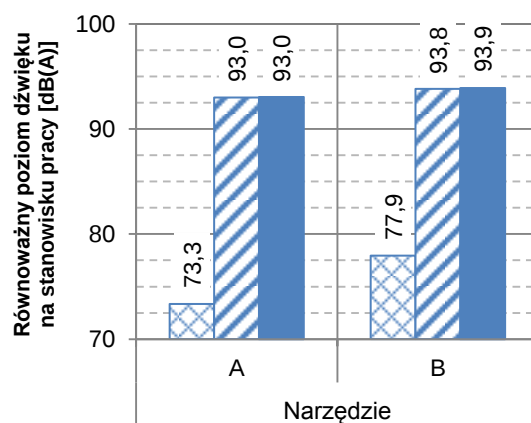


Rys. 4. Równoważny poziom hałasu na stanowisku pracy [dB(A)] w pasmach oktawowych częstotliwości – średni hałasu zmierzony podczas szlifowania oraz średni hałas zmierzony od narzędzia obciążonego: a) narzędzia bez tłumika hałasu, b) narzędzia z tłumikiem hałasu.

a) Narzędzie bez tłumika



a) Narzędzie z tłumikiem



- ▨ Hałas emitowany z wylotu powietrza narzędzia związany z jego budową, zmieniony w wyniku obciążenia wytwarzanego przez tarcze [pomiar]
- ▤ Hałas emitowany z obrabianego elementu w wyniku pobudzenia do drgań podczas szlifowania [obliczenia]
- Hałas od szlifowania tarczą listkową [pomiar]

Rys 5. Równoważny poziom hałasu na stanowisku pracy [dB(A)] podczas szlifowania z wykazanym udziałem hałasu od narzędzia obciążonego (hałas emitowany z wylotu narzędzia) i hałasu emitowanego z elementu obrabianego: a) narzędzia bez tłumika hałasu, b) narzędzia z tłumikiem hałasu.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że wartości średnie hałasu mierzonego podczas szlifowania dla tej samej czynności pozwalają uzyskać zbliżone poziomy hałasu od 93,9 do 95,7 dB niezależnie od narzędzia. Dzieje się tak dlatego, że wykonywana czynność w większym stopniu pobudza do drgań element obrabiany. Wykonane obliczenia pozwoli na rozróżnienie hałasu od narzędzia (czynnik 1) i technologicznego (czynnik 2).

4.1. Hałas narzędzia obciążonego:

- a) Hałas emitowany głównie z wylotu powietrza ale i z korpusu narzędzia
- b) Dwa rozpatrywane narzędzia badane charakteryzowały się różnymi poziomami emisji: A – 92,4 dB (73,3 dB z tłumikiem); B – 84,0 dB (77,9 dB z tłumikiem).
- c) Hałas od narzędzia może być tłumiony znacznie poniżej poziomów dopuszczalnych poprzez zastosowanie cichych narzędzi wyposażonych w tłumiki hałasu – redukcja hałasu narzędzia o wartości od 6 dB do 20 dB.
- d) Kolejnym istotnym wnioskiem jest, że hałas narzędzia nie zmienia się w znacznym stopniu w wyniku obciążenia. Najwyższy wzrost odnotowano dla narzędzia A o wartości średniej 2,6 dB, przy czym należy zaznaczyć, że dla narzędzia B hałas narzędzia obciążonego był niższy średnio o 0,9 dB. Na potrzeby oceny tego typu szlifierek pneumatycznych przyjmuje się więc, że poziom hałasu emitowany przez narzędzie obciążone może być wyższy o 3dB względem narzędzia pracującego na biegu luzem bez tarczy.
- e) Na hałas od samego narzędzia obciążonego może mieć też wpływ hałas aerodynamiczny wytwarzany przez obracającą się tarczę, natomiast w przypadku tarczy listkowej ten efekt nie jest obserwowany. Podejrzewa się, że należy spodziewać się tego efekt dla lekkich tarcz o dużej średnicy, przy czym efekt ten nie był badany.

4.2. Hałas technologiczny.

- a) Hałas z obrabianego elementu w wyniku pobudzenia do drgań podczas szlifowania
- b) Wartość **niezależna** od użytego narzędzia, a jedynie od czynności na co wskazują zbliżone wartości poziomu hałasu emitowanego z elementu obrabianego dla każdej serii pomiarowej – poziomy w zakresie od 93,0 do 93,8 dB.
- c) O ile stosuje się narzędzia z tłumikami można przyjąć, że przekroczenia poziomów dopuszczalnych hałasu będą powodowane przez hałas emitowany przez

element podczas obróbki i związany jest bezpośrednio z realizowaną pracą. Wyzwaniem jest zaprojektowanie zabezpieczeń pozwalających na redukcję hałasu z drgającego elementu.

5. Zalecenia dotyczące redukcji hałasu od narzędzi

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że hałas samych narzędzi pneumatycznych różni się na tyle, że jeżeli są użytkowane bez tłumików mogą powodować przekroczenia poziomów dopuszczalnych hałasu. Badania przekrojowe na potrzeby strategii redukcji hałasu dla stanowisk pracy wykonywane przez autora dla kilku hali produkcyjnych w Polsce potwierdzają występowanie tego zjawiska. Należy cały czas pamiętać, że mowa tutaj o hałasie samych narzędzi. Dlatego wprowadzono klasyfikację narzędzi na potrzeby dopuszczenia ich do użytku na stanowisku pracy. Jako kryterium proponuje się pomiar równoważnego poziomu hałasu na stanowisku pracy od narzędzia zgodnie z normą PN-EN ISO 9612:2011 podczas pracy narzędzia na biegu luzem w miejscu użytkowania $L_{pA,luz}$. Klasyfikację zaprezentowano w tabeli nr 1 i można uogólnić ją na inne narzędzia o ile okaże się to użyteczne. Osiągnięcie klasy 1 zapewnia, że narzędzie samo z siebie nie wpływa na przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu na stanowisku pracy.

Tabela 1. Klasyfikacja narzędzia na stanowisku pracy ze względu na hałas własny - na potrzeby dopuszczenia do użytkowania.

Klasyfikacja na podstawie pomiarów na stanowisku pracy w miejscu użytkowania			
Klasa narzędzi	Nr klasy	Opis klasy	$L_{pA,luz}$ [dB]
Narzędzia niezalecane „głośne”	3	Powodują przekroczenia poziomów dopuszczalnych. Stosować tylko przy krótkich udziałach czasu trwania czynności w czasie dnia pracy (nie więcej niż 10% czasu pracy). Selekcję poprzedzać analizą akustyczną	> 82 dB
Narzędzia dopuszczalne „o średniej głośności”	2	Nie powodują przekroczeń poziomów dopuszczalnych ale stanowią istotny udział w hałasie notowanym podczas szlifowania. Można stosować przy przez nie więcej niż 50% czasu pracy. Inny sposób użytkowania poprzedzać analizą akustyczną.	75 - 82 dB
Narzędzia zalecane „ciche”	1	Nie powodują przekroczeń poziomów dopuszczalnych i nie stanowią udziału w hałasie notowanym podczas szlifowania. Można stosować przez cały dzień pracy w sposób ciągły.	< 75 dB

Uproszczoną analizę akustyczną na potrzeby dopuszczania narzędzi klasy 2 i 3 proponuje się wykonywać wg zależności:

$$L_{pA, luz} + 10 \text{ dB} < 85 \text{ dB} - 10 \log_{10} \left(\frac{\text{czas trwania czynności [h]}}{8h} \right) \quad (1)$$

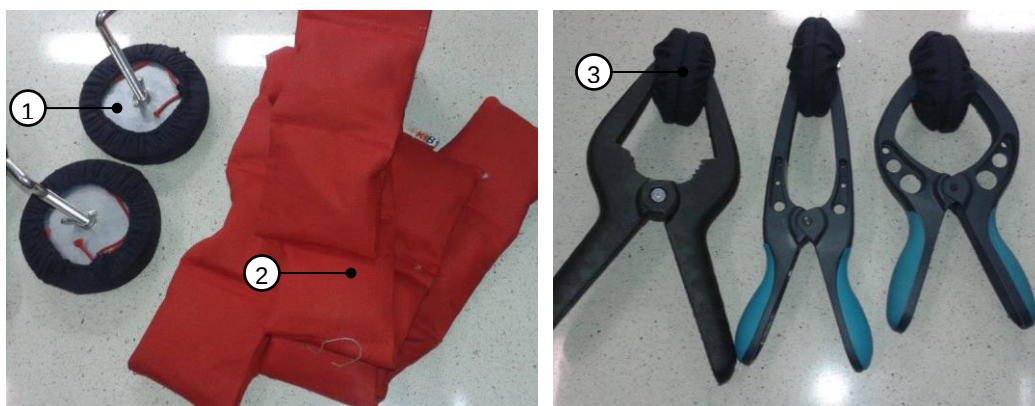
6. Redukcja hałasu technologicznego

Na potrzeby redukcji hałasu emitowane z drgającego elementu podczas obróbki przyjęto następujące potencjalne kierunki działań:

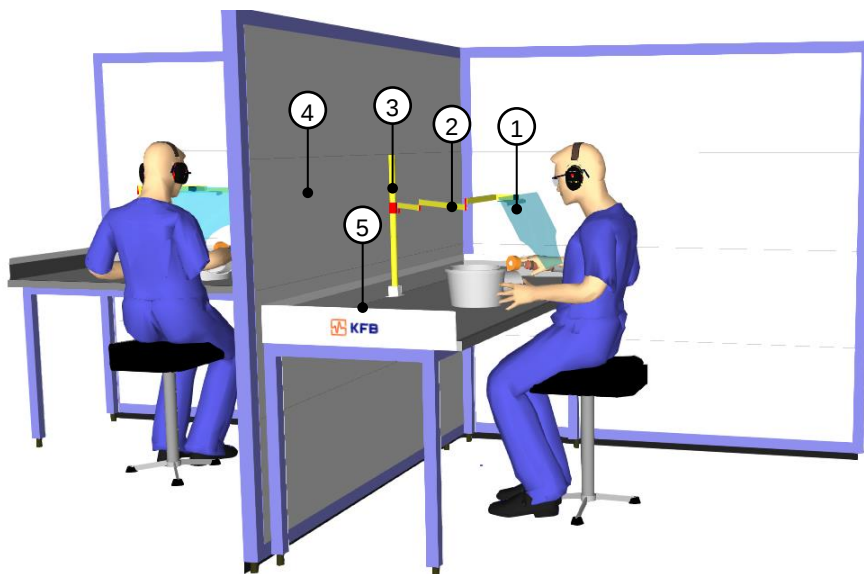
- a) tłumienie drgań elementów podczas obróbki,
- b) blokowanie hałasu transmitowanego z miejsca obróbki do pracownika.

Na potrzeby realizacji prototypowych rozwiązań o różnym potencjalnie zaprojektowano i wykonano:

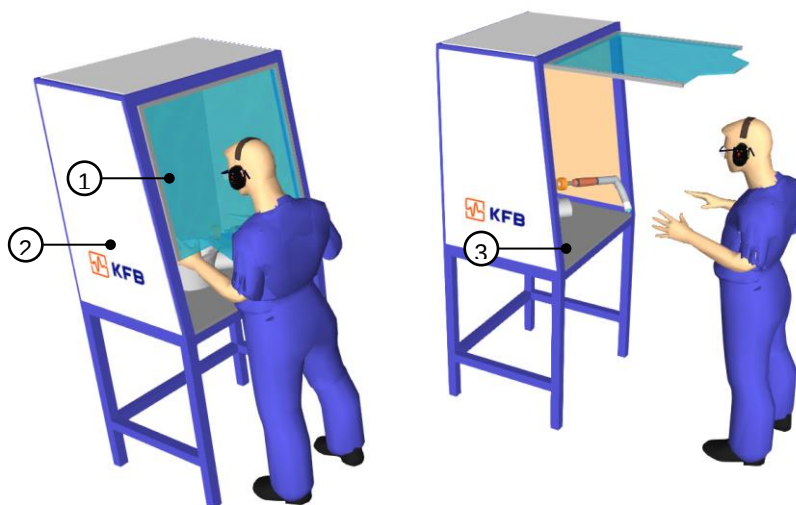
- a) akcesoria tłumiące drgania elementu podczas obróbki (KFB Polska Sp z o.o.) – rysunek nr 6,
- b) osłonę indywidualną jako element wyposażenia stołu roboczego blokujący hałas z elementu obrabianego i narzędzia (KFB Polska Sp. z o.o.) – rysunek nr 7,
- c) akustyczną komorę z osłoną uchylną, blokującą hałas z elementu obrabianego i narzędzia (KFB Polska Sp. z o.o.) – rysunek nr 8,
- d) akustyczną komorę rękawicową do najgłośniejszych prac zapewniającą separację pracownika od elementu obrabianego i narzędzia (KFB Polska Sp. z o.o.) – rysunek nr 9.



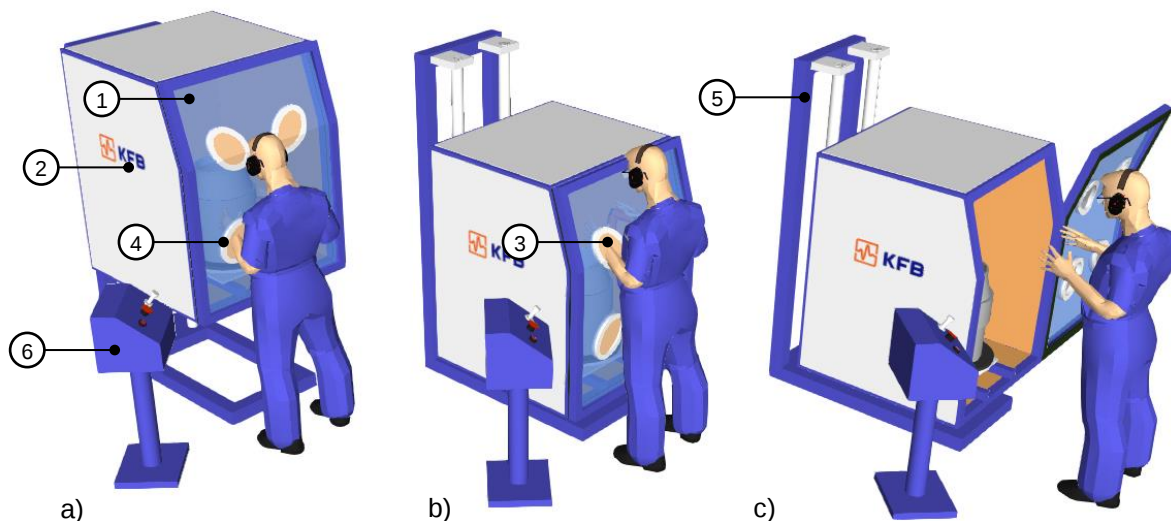
Rys. 6. Akcesoria tłumiące KFB Polska Sp z o.o.. 1 – krążki z materiałem tłumiącym i magnesem; 2 – wąż tłumiący z piaskiem; 3 – klemy z poduszkami tłumiącymi.



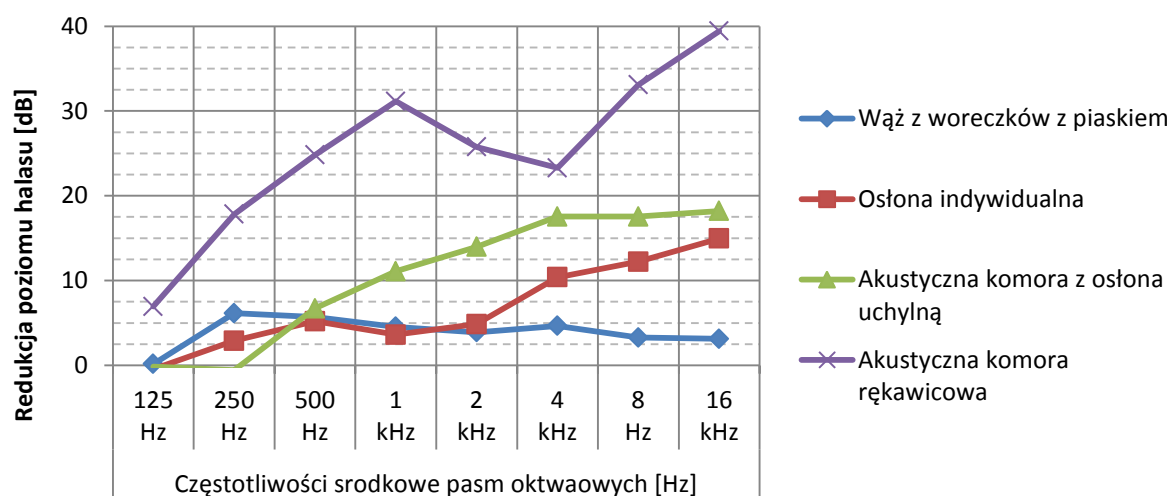
Rys. 7. Osłona indywidualna KFB Polska Sp. z o.o.. 1 – osłona przezierna z uchwytem kulowym; 2 – ramie przegubowe na potrzeby szybkiego przysuwania i odsuwania osłony; 3 – szyna do doraźnej regulacji w pionie na potrzeby pracy w pozycji stojącej; 4 – ekran akustyczny separujący stanowiska pracy KFB Polska Sp. z o.o.; 5 – stół roboczy KFB Polska Sp. z o.o..



Rys. 8. Akustyczna komora z osłoną uchylną KFB Polska Sp. z o.o.. 1 – osłona uchylna; 2 – panel akustyczny komory; 3 – stolik.



Rys. 9. Akustyczna komora rękawicowa KFB Polska Sp z o.o.. Czynności wykonywane: a) praca poprzez dolny zestaw otworów roboczych; b) praca poprzez górny zestaw otworów roboczych ; c) dostęp do wnętrza komory. 1 – panel frontowy / drzwi; 2 – panel boczny; 3 – otwór roboczy górny; 4 – otwór roboczy dolny; 5 – szyna z siłownikiem pneumatycznym pozwalająca; 6 – pulpit sterujący pneumatyką.



Rys 9. Charakterystyka zabezpieczeń akustycznych [dB].

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów na stanowiskach pracy wyznaczono charakterystykę zabezpieczeń akustycznych (rysunek nr 10) – wykonywano pomiary bez i z zabezpieczeniami:

- a) wąż z woreczków z piaskiem (KFB Polska Sp. z o.o.) – na bazie czynności: zaczyszczanie powierzchni metalowej szlifierką pneumatyczną 12 tys obr/min z tarczą listkową (zaczyszczanie miejsca nr 1 i 3 wg rysunku nr 3 – dominujący hałas od

elementu obrabianego) na ciśnieniu roboczym 0,6 Mpa, zapewnił redukcję równoważnego poziomu hałasu podczas czynności **4,1 dB**,

- b) osłona indywidualna (KFB Polska Sp. z o.o.) – na bazie czynności: zaczyszczanie powierzchni metalowej szlifierką pneumatyczną 12 tys obr/min z tarczą listkową na ciśnieniu roboczym 0,6 Mpa, zapewniła redukcję równoważnego poziomu hałasu podczas czynności **9,0 dB**,
- c) akustyczna komora z osłoną uchylną (KFB Polska Sp. z o.o.) – na bazie czynności: odmuchiwanie kratownicy pistoletem do odmuchiwania na ciśnieniu roboczym 0,8 MPa, zapewniła redukcję równoważnego poziomu hałasu podczas czynności **15,0 dB**,
- d) akustyczna komora rękawicowa (KFB Polska Sp. z o.o.) – oczyszczanie wibracyjne elementu układu wydechowego przy użyciu młotka pneumatycznego 0,6 MPa z obuchem z tworzywa sztucznego, uzyskano redukcję równoważnego poziomu hałasu podczas czynności **25,1 dB**.

7. Podsumowanie

W opracowaniu zaprezentowano zalecany sposób postępowania przy doborze narzędzi pneumatycznych. Wprowadzono w tym celu klasyfikację do wewnętrznego użytku działów BHP oraz wytyczne do procedury dopuszczania narzędzia. Stosowanie cichych narzędzi zapewni brak wpływu samego narzędzia na dzienną ekspozycję, natomiast stosowanie dodatkowych zabezpieczeń pozwala na redukcję hałasu technologicznego przy jednoczesnym zmniejszeniu wymagać co do hałasu narzędzi. Przedstawiono rozwiązania akustyczne redukujące narażenie na hałas technologiczny o poziomach do 25 dB. Dobór zabezpieczeń redukujących hałas technologiczny podyktowany jest przede wszystkim wymaganą funkcjonalnością. Projektując stanowiska pracy bez przekroczeń poziomów dopuszczalnych należy brać pod uwagę, że redukcja hałasu technologicznego jest możliwa, natomiast wiąże się często z pewnymi ograniczeniami co do ergonomii i funkcjonalności.

8. Podziękowania

Przedstawione w niemniejszym opracowaniu pomiary i analizy były realizowane na potrzeby prac badawczo-rozwojowych firmy KFB Polska Sp z o.o. oraz w ramach projektu realizowanego dla Pratt&Whitney Rzeszów S.A. i uprzejmości pana Grzegorza Wrony.

9. Literatura

1. Evaluation of influence of work analysis data on determination of occupational noise exposure for fitter–welder workstation, Bartosz Chmielewski , and Filip Barański, INTERNOISE 2013
2. PN-EN ISO 9612:2011 - Akustyka -- Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas -- Metoda techniczna
3. PN-EN ISO 15744:2008 - Narzędzia z napędem nieelektrycznym - Pomiar hałasu -- Metoda techniczna (klasa 2)