

dr inż. KRZYSZTOF KOSAŁA

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
dr hab. inż. WIKTOR M. ZAWIESKA, prof. nadzw. CIOP-PIBCentralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Propozycje zabezpieczeń przeciwhałasowych w odkrywkowych kopalniach surowców skalnych



Eksploracja odkrywkowych kopalni surowców skalnych niesie ze sobą zagrożenia natury wibroakustycznej zarówno dla pracowników kopalni, jak i mieszkańców okolicznych zabudowań. Hałas, będący jednym z najczęściej występujących czynników ryzyka w środowisku pracy, jest zagrożeniem dla środowiska zewnętrznego, zwłaszcza w sytuacji, kiedy prace wydobywcze są prowadzone w pobliżu infrastruktury mieszkalnej.

Branża wydobywcza jest związana z wieloma hałaśliwymi czynnościami. M.in. są to: odwierty, prace strzałowe, zginięcie skał oraz transport surowców wydobytych z kopalni. Operatorzy maszyn górniczych (w tym transportowych), a także serwisujący je specjaliści oraz pracownicy dozoru technicznego są również narażeni na hałas. Jego poziomy przekraczające dopuszczalne normy są często przyczyną chorób zawodowych, zaburzeń mowy oraz wypadków przy pracy.

Proposals for of noise protection in open-pit mines of mineral raw materials

Exploitation of open-pit mines of minerals constitutes vibroacoustic hazards for their workers and inhabitants living near such establishments. Noise, one of the main harmful factors in the working environment, is a threat to the external environment, particularly when mining works are carried out near residential areas or reserves. The quarry industry is connected with many noisy activities: drilling, blasting, crushing rocks, aggregate screening and transporting mineral materials. Operators of mining and transport machines, service personnel and technical inspectors are exposed to noise. Occupational diseases, distorted speech intelligibility among workers and accidents at work result from exceeded noise levels.

Fot. Christopher Haloran/Bigstockphoto

Wstęp

Problemy zabezpieczeń przeciwhałasowych dla urządzeń i procesów stosowanych w zakładach kopalni odkrywkowych, omawiane w niniejszym artykule, związane są z zadaniem badawczym „Kształtowanie klimatu akustycznego w odkrywkowych kopalniach surowców skalnych”, jako element rozwoju zrównoważonego”, koordynowanym przez Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Podstawowym celem tego zadania jest opracowanie koncepcji ochrony przed hałasem pracowników kopalni odkrywkowej, co jest ściśle związane z identyfikacją głównych źródeł energii wibroakustycznych występujących w tych kopalniach.

Klimat akustyczny środowiska to zespół zjawisk akustycznych występujących w danym obszarze, niezależnie od źródeł je wywołujących.

Klimat ten zwłaszcza w warunkach lokalnych może cechować się silnymi zmianami w czasie i przestrzeni.

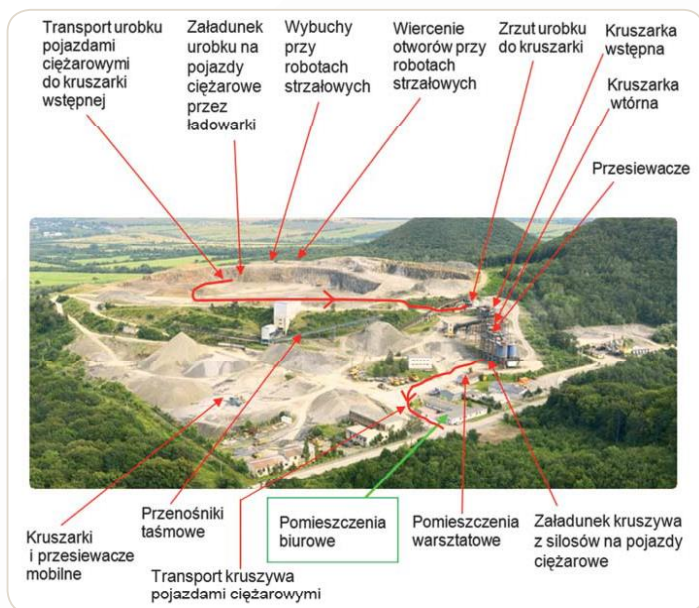
W artykule zaproponowano metody poprawy klimatu akustycznego w kopalniach odkrywkowych poprzez podanie ogólnych rozwiązań technicznych redukcji poziomu hałasu oraz sformułowanie propozycji zabezpieczeń ograniczających poziom hałasu generowanego przez kruszarki mobilne.

Źródła hałasu w kopalniach odkrywkowych

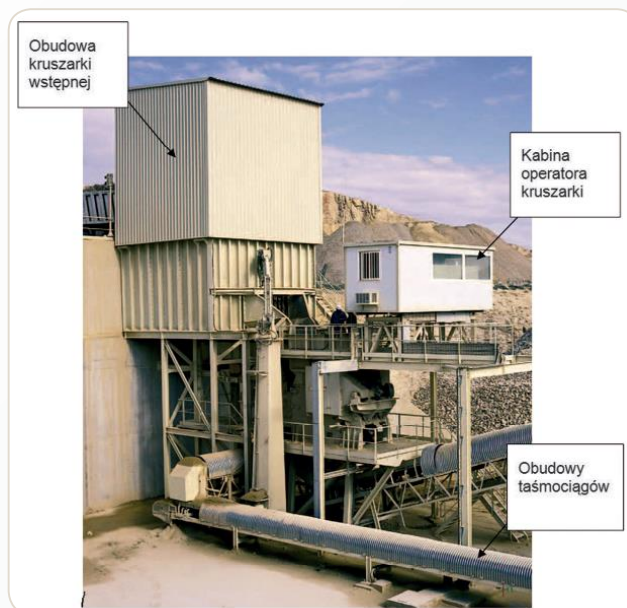
Kopalnie odkrywkowe należą do obiektów uciążliwych dla środowiska pod względem hałasu. Ich eksploatacja stanowi zagrożenie hałasem m.in. dla osób na stanowiskach pracy w nich usytuowanych [1, 2, 3]. Główne źródła hałasu występujące w odkrywkowych

kopalniach surowców skalnych związane są z wykonywanym procesem technologicznym [4]. Na fot. 1. pokazano jeden z zakładów kopalni andezytu będącego obiektem badań akustycznych, wyszczególniając typowe, charakterystyczne rodzaje źródeł hałasu w tego typu zakładach.

Odkrywkowy przemysł wydobywczy jest związany z wieloma czynnościami generującymi hałas, takimi jak wiercenie otworów w skałach, prace strzelnicze, kruszenie kamieni skalnych i przesiewanie kruszywa oraz transport surowców skalnych. Na hałas o dużym poziomie narażeni są operatorzy maszyn górniczych, transportowych, pracownicy obsługi, dozoru technicznego i konserwacji urządzeń technologicznych, pracownicy biurowi, mieszkańcy pobliskich miejscowości (głównie hałas związany z prowadzeniem robót strzałowych).



Fot. 1. Źródła hałasu w odkrywkowej kopalni andezytu
 Photo 1. Noise sources in open pit mine of andesite



Fot. 2. Stacjonarna stacja krusząca (wstępna) [5]
 Photo 2. Stationary crushing station (preliminary) [5]



Fot. 3. Pasy gumowe zastosowane jako zabezpieczenia akustyczne przy robotach strzałowych
 Photo 3. Rubber belts used as acoustic safety measures for blasting works



Fot. 4. Naturalny ekran akustyczny w postaci nasypów żwirowych
 Photo 4. Natural acoustic screening formed from gravel banks

W mniejszych kopalniach odkrywkowych stacjonarne urządzenia do przeróbki surowców skalnych stosowane są rzadko, wykorzystuje się głównie maszyny mobilne. Uzyskany podczas robót strzałowych urobek jest ładowany bezpośrednio spod skały ładowarkami lub koparkami do zespołów kombajnowych. Są to mobilne kruszarki i przesiewacze, będące głównymi źródłami hałasu w tych zakładach i stanowiące zagrożenie hałasem dla pracowników znajdujących się na terenie wyrobiska, szczególnie operatorów tych maszyn.

Możliwości poprawy klimatu akustycznego w odkrywkowym zakładzie surowców skalnych

W zakładach kopalni odkrywkowych z maszynami mobilnymi rozkład poziomu hałasu cechuje się zmiennością, wynikającą z pracy maszyn przerobczych w różnych miejscach wyrobiska. Wpływ hałasu pochodzącego od mobilnych źródeł na pracowników kopalni zależy od wzajemnej odległości, lokalizacji, czasu trwania czynności technologicznej, topografii itp. Maszyny mobilne, w odróżnieniu

od stacjonarnych źródeł hałasu, takich jak np. kruszące linie technologiczne w dużych kopalniach odkrywkowych, wymagają bardziej wyrafinowanych przeciwhałasowych rozwiązań technicznych. Przytoczone niżej przykłady rozwiązań technicznych ograniczających hałas mają zastosowanie przede wszystkim w dużych zakładach odkrywkowych.

Jednym ze skutecznych rozwiązań przeciwhałasowych jest zastosowanie częściowej obudowy dźwiękochłonna-izolacyjnej na kruszarkę wstępną, w miejscu zrzutu do niej kamieni skalnych (fot. 2.). Na fot. 2. pokazano również zabezpieczenie przed hałasem na stanowisku pracy w postaci kabiny operatora kruszarki, jak też obudowy na przenośniki taśmowe.

Istotnym źródłem hałasu w kopalni odkrywkowej jest proces załadunku kamieni skalnych na pojazdy ciężarowe przez ładowarki. Obniżenie poziomu hałasu, nawet o 14 dB [6], można osiągnąć poprzez zastosowanie gumowej warstwy wewnątrz skrzyń wyładowczych tych pojazdów. Takie rozwiązanie sprzyja również wydłużeniu okresu eksploatacji ciężarowego pojazdu transportowego.

Jednym z badań eksperymentalnych przeprowadzonych w kopalni odkrywkowej andezytu było zastosowanie zużytych pasów gumowych z taśmociągów jako okładziny przeciwhałasowej na skale poddawanej odstrzałowi materiałami wybuchowymi (fot. 3.). Zmniejszono w ten sposób poziom hałasu (L_{AE} – poziom ekspozycyjny (SEL) z filtrem korekcyjnym A) związanego z robotami strzałowymi o 6 dB w odległości 60 m od miejsca eksplozji [7].

Jednocześnie z zastosowaniem technicznych środków przeciwhałasowych należy podjąć przedsięwzięcia polegające na reorganizacji robót związanych z procesem technologicznym, takie jak:

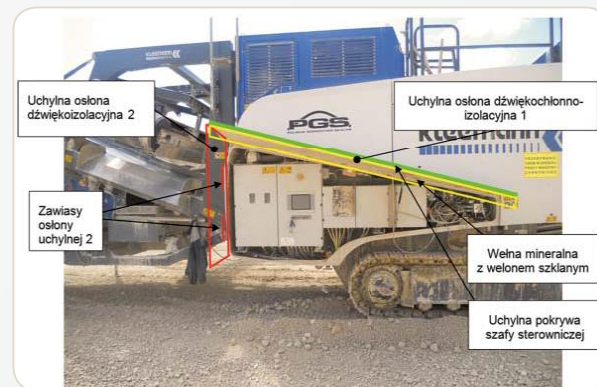
- użycie naturalnych surowców skalnych do ochrony przeciwhałasowej w postaci nasypów (stosów) żwirowych w miejscach strategicznych w celu uzyskania efektu przegrody – ekranu akustycznego (fot. 4.), [8]
- ulokowanie źródeł hałasu na najniższych poziomach wyrobiska (np. operacja kruszenia kamienia kruszarkami mobilnymi), jak również lokalizacja maszyn przerobczych w jak



Fot. 5. Kruszarka mobilna podczas pracy w kopalni wapienia
Photo 5. Mobile crusher at work in limestone mine



Fot. 6. Pracownik obsługujący kruszarkę – przy pulpicie sterowniczym
Photo 6. An employee handling a crusher – at control desk



Fot. 7. Konceptcja osłon dźwiękochłonna-izolacyjnych pola sterowniczego kruszarki
Photo 7. Isolating-soundproof covers of a crusher steering field's concept

największej odległości od stref, w których znajdują się stanowiska pracy wymagające zachowania szczególnie niskich poziomów zagrożeń hałasowych

- ograniczenie trwania czynności technologicznych w szczególnych lokalizacjach
- stosowanie maszyn o dużej wydajności, prawidłowo eksploatowanych i serwisowanych
- używanie maszyn bezobsługowych, niewymagających obecności pracownika obsługi podczas operacji kruszenia.

Konceptje zabezpieczeń przeciwhałasowych kruszarek mobilnych

Analiza możliwości zastosowania technicznych środków ograniczających poziom hałasu maszyny

Kruszarka jest maszyną rozdrabniającą, służącą do wytwarzania kruszywa przy wykorzystaniu procesu kruszenia. Kruszarki mogą być stacjonarne, semistacjonarne, semimobilne na podwoziu kołowym i mobilne na gąsienicowym. Ze względu na charakter pracy mogą być one obciążone cyklicznie (kruszarki szcękowe) lub w sposób ciągły (kruszarki stożkowe, walcowe i uderzeniowe). Jedną z maszyn, poddaną badaniom akustycznym przeprowadzonym w ramach zadania badawczego, była udarowa kruszarka mobilna (fot. 5.), składająca się z takich modułów, jak: kosz zasypowy (1) przesiewacz wibracyjny (wstępny) (2), kruszarka (3), silnik (4) i szafa sterownicza (5).

Pomost kruszarki (fot. 5.) służy do konserwacji i doglądu technicznego modułów całej maszyny, jak również umożliwia pracownikowi obsługi maszyny nadzór procesu załadunku kosza zasypowego oraz cyklu kruszenia.

Problem ograniczenia poziomu hałasu generowanego przez kruszarkę należy uwzględnić na etapie projektowania maszyn, które powinny spełniać wymagania w zakresie

ochrony przed hałasem, zawarte w dyrektywie maszynowej 2006/42/WE oraz wymagania dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska, zawarte w dyrektywie 2000/14/WE (2005/88/WE). Na etapie projektowania istnieją możliwości:

- wymiany sit metalowych na specjalne gumowe, wykonane z mieszanek gumowych o wysokiej odporności na ścieranie, gwarantujące nie tylko obniżenie poziomu hałasu ale i poziomu pylenia
- zastąpienia niektórych elementów maszyny (np. silnika) innymi, o mniejszej mocy akustycznej
- modyfikacji ścian obudowy silnika lub/i modułu kruszarki, uwzględniającej materiały o właściwościach dźwiękochłonnych i izolacyjnych lepszych niż dotychczas stosowane.

W ramach zadania badawczego rozważano rozwiązanie przeciwhałasowe dla kruszarki w postaci obudowy dźwiękochłonna-izolacyjnej. Obudowa musiałaby być wówczas hermetyczna, na co nie pozwala specyfika procesu technologicznego. Przy eksploatacji maszyny muszą być zapewnione: podawanie i transport obrabianego surowca skalnego, dostęp do urządzeń sterujących, jak również wykonanie prac konserwatorskich poszczególnych modułów maszyny. Rozwiązanie w postaci obudowy dźwiękochłonna-izolacyjnej maszyny mogłoby spowodować utrudnienia w eksploatacji z uwagi na potrzebę wymiany powietrza przy dużych temperaturach silnika.

W ramach zadania badawczego zostały zaproponowane dwie koncepcje rozwiązań przeciwhałasowych kruszarek, związane z zapewnieniem lepszego komfortu akustycznego dla pracownika obsługi przy pulpicie sterowniczym (szafie sterowniczej) oraz z ochroną terenów wokół kruszarki. W pierwszym przypadku były to osłony pola operacyjnego kruszarki, w drugim – przenośne ekrany akustyczne. Usytuowane przy maszynie ekrany

mają chronić teren wokół odbywającego się procesu kruszenia oraz zmniejszyć wpływ oddziaływania hałasu na załogę kopalni, pracującą w innej części terenu zakładu.

Osłony pola operacyjnego kruszarek mobilnych

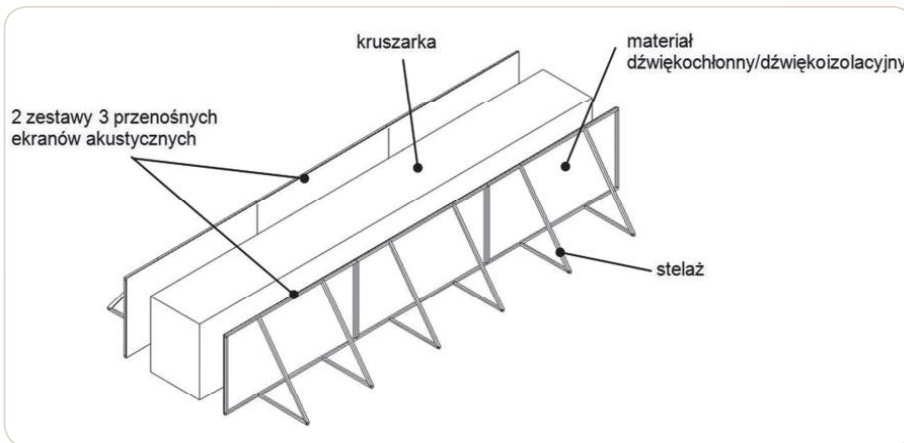
Miejsce obsługi pulpitu kruszarki przez operatora (fot. 6.) wymaga szczególnej uwagi, mimo że czas jego przebywania związany z rozruchem, zmianami parametrów pracy maszyny oraz jej wyłączaniem jest stosunkowo krótki. Brak skupienia operatora podczas wykonywania wymienionych czynności, spowodowany nadmiernym hałasem, może mieć skutki w postaci błędów i pomyłek, a w konsekwencji prowadzić do wypadków przy pracy.

Szafa sterownicza wyposażona jest w uchylną pokrywę, która do obsługi maszyny jest otwierana. Zaproponowano wykonanie osłony dźwiękochłonna-izolacyjnej (1) (fot. 7.), poprzez modyfikację istniejącej, wchodzącej w skład wyposażenia kruszarki, uchylnej pokrywy szafy sterowniczej, polegającą na wyłożeniu jej wewnętrznej części wełną mineralną pokrytą welonem szklanym, o grubości 5 cm.

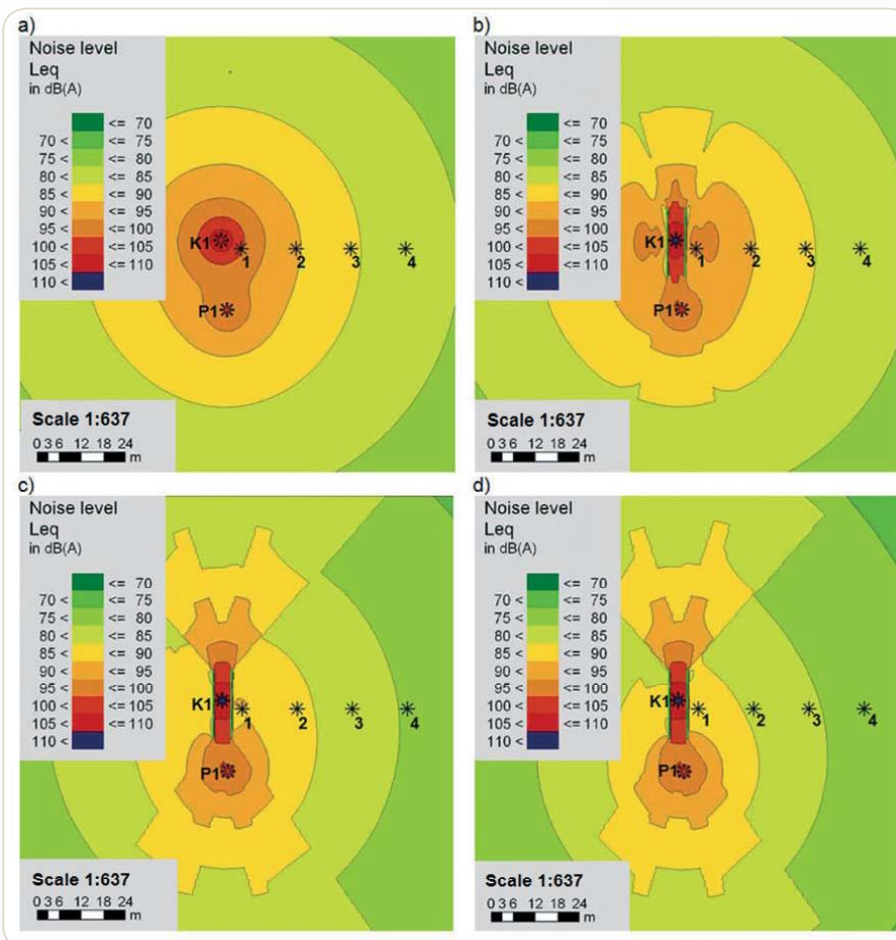
Zastosowanie dodatkowej, uchylnej osłony dźwiękoizolacyjnej (2), wykonanej z pleksi-glasu lub poliwęglanu o grubości 8÷10 mm, wyprofilowanej w sposób umożliwiający domknięcie jej razem z osłoną dźwiękochłonna-izolacyjną (1), ma zapewnić polepszenie komfortu akustycznego pracownika obsługi maszyny. Podczas transportu kruszarki mobilnej, lub po wykonaniu operacji rozruchowych maszyny, przy normalnej pracy maszyny, obie osłony są zamykane i nie kolidują z pracami związanymi z procesem technologicznym.

Przenośne ekrany akustyczne – koncepcja ekranu akustycznego w kopalni odkrywkowej

Maszyny rozdrabniające typu kruszarka, ze względu na wysokie poziomy hałasu, związane z wykonywanym procesem techno-



Rys. 1. Koncepcja ekranów akustycznych w pobliżu pracującej kruszarki
 Fig. 1. Acoustic screens placed by the crusher at work concept



Fot. 8. Rozkład równoważnego poziomu dźwięku A wokół zespołu kombajnowego (kruszarka-przesiewacz) w odniesieniu do przypadków: bez zabezpieczeń przeciwhałasowych (a), z ekranem o wysokości: 3 m (b); 4 m (c) i 5 m (d)
 Photo 8. Arrangement of the equivalent A noise level around the combine unit (crusher-shaker) in relevance to situations: without noise safety measures (a), with a sound screen 3 metres high (b); 4 metres high (c) and 5 metres high (d)

logicznym, stanowią zagrożenie nie tylko bezpośrednio dla pracowników znajdujących się w bliskim sąsiedztwie maszyn przerobczych, ale także dla innych pracowników, mogących przebywać w bardziej oddalonych obszarach zakładu. Lokalizacja kruszarek w półotwartym wyrobisku skalnym, często przy ścianie skalnej

powoduje, poprzez odbicia fal dźwiękowych, wzmocnienie zasięgu rozprzestrzeniania się hałasu na dalsze odległości.

W celu ograniczenia wpływu maszyn przerobczych typu kruszarka można odizolować takie źródła hałasu od innych obszarów zakładu kopalni za pomocą przenośnych

ekranów akustycznych. Zabezpieczenia te należy rozstawić wokół lub wzdłuż kruszarki, po czynnościach rozruchowych maszyny, tymczasowo, na czas procesu kruszenia (rys. 1.)

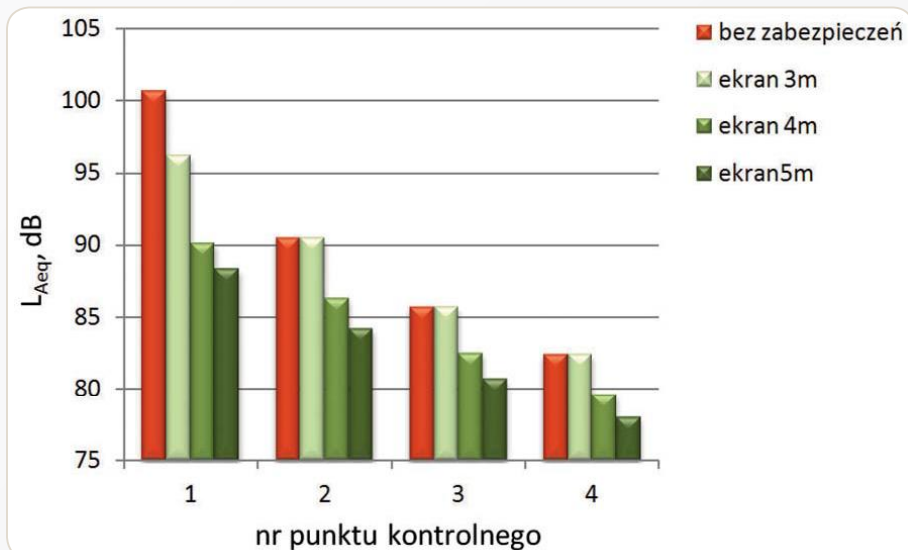
Do pokazanych na rys. 1. zabezpieczeń przeciwhałasowych proponuje się wykorzystanie materiałów dźwiękoizolacyjnych lub dźwiękochłonnych, zamocowanych na metalowej konstrukcji stelaża.

Wstępne badania symulacyjne zabezpieczeń przeciwhałasowych

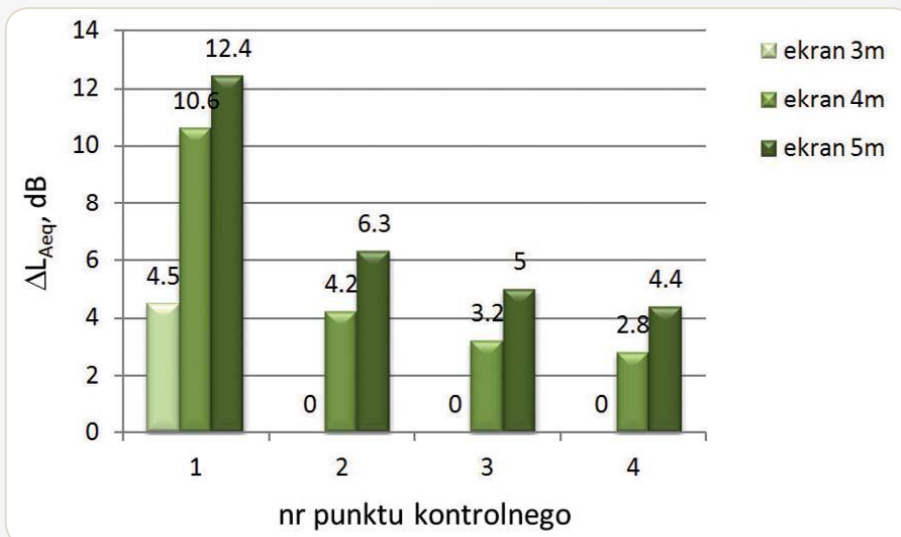
W II etapie zadania badawczego (2012 r.), w ramach opracowania wstępnej koncepcji przeciwhałasowej przy kruszarkach, przeprowadzona została próba zastosowania ekranów akustycznych w komputerowych badaniach symulacyjnych. W programie SoundPlan 7.1 sporządzony został model propagacji pola akustycznego wokół kruszarki i współpracującej z nią maszyny – przesiewacza, z wykorzystaniem opracowanych modeli akustycznych tych maszyn. Symulacyjne badania komputerowe przeprowadzone były na modelach akustycznych zespołu maszyn kruszarka-przesiewacz, bazujących na dwóch jednopunktowych wszechkierunkowych źródłach dźwięku. Współrzędne tych źródeł obliczone zostały na podstawie środków ciężkości prostokątów powstałych z przyjętych powierzchni pomiarowych do obliczenia poziomów mocy akustycznej maszyn. Poziomy mocy akustycznej wyznaczono zaś na podstawie badań maszyn, przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych. Objektami badań były kruszarki Kleemann Mobirex MR 130 Z i przesiewacz Powerscreen Chieftain 2100, pracujące w odkrywkowej kopalni wapienia.

Badania symulacyjne, oparte na modelach akustycznych, zawierających jednopunktowe źródła hałasu, miały na celu zgrubne oszacowanie rozkładu pola akustycznego wokół maszyn i ocenę skuteczności zaproponowanych koncepcji zabezpieczeń przeciwhałasowych. Zaproponowane zostały 2 ekrany akustyczne refleksyjne (obustronnie odbijające), zlokalizowane wzdłuż kruszarki w odległości 1 m od maszyny, pokazane poglądowo na rys. 1. Ekrany miały długość 18 m i wysokość 3, 4 i 5 m. Na fot. 8. przedstawiono wyniki badań symulacyjnych poziomu hałasu w postaci rozkładu równoważnego poziomu dźwięku A, L_{Aeq} , na powierzchni wokół maszyn, usytuowanej na wysokości 1,6 m od ziemi dla 4 wariantów: bez zabezpieczeń oraz z ekranami o wysokościach 3, 4 i 5 m.

Z rozkładów poziomu dźwięku wynika, że ekrany usytuowane w bliskiej odległości od kruszarki polepszają klimat akustyczny obszarów wokół maszyn. Na rys. 2. zaprezentowano uzyskane w ramach badań symulacyjnych efekty działania zabezpieczeń



Rys. 2. Porównanie równoważnych poziomów dźwięku A, L_{Aeq} , w 4 punktach kontrolnych, w odniesieniu do kruszarki pracującej bez zabezpieczeń przeciwhałasowych oraz z zastosowaniem ekranów akustycznych o wysokościach 3 m, 4 m i 5 m
 Fig. 2. Comparison of equivalent A noise levels, L_{Aeq} , at 4 control points, in relevance to the crusher working with no acoustic safety measures as well as where acoustic screens 3, 4 and 5 metres high are used



Rys. 3. Uzyskany efekt zmniejszenia równoważnego poziomu dźwięku A, ΔL_{Aeq} , w 4 punktach kontrolnych, dla kruszarki z zastosowaniem ekranów akustycznych o wysokościach 3 m, 4 m i 5 m
 Fig. 3. Acquired effect of lowered equivalent A noise level, ΔL_{Aeq} , at 4 control points, in relevance to the crusher with acoustic screens 3, 4 and 5 metres high in use

przeciwhałasowych kruszarki w postaci ekranów akustycznych dla wybranych 4 punktów kontrolnych w odniesieniu do sytuacji bez zabezpieczeń.

Efekt zmniejszenia poziomu hałasu (ΔL_{Aeq}), uzyskany poprzez uwzględnienie ekranów akustycznych o różnych wysokościach, przedstawiono na rys. 3.

Najlepszy wpływ na poprawę klimatu akustycznego kopalni mają ekrany o wysokości 5 m. Ekran o wysokości 3 m jest praktycznie nieskuteczny, za wyjątkiem punktu zlokalizowanego najbliżej kruszarki (nr 1, rys. 3.). Pokazana prognoza skuteczności ekranów akustycznych dotyczyła uproszczonych modeli maszyn, zawierających pojedyncze

źródła wszechkierunkowe. Takie podejście ma charakter orientacyjny. Bardziej miarodajne wyniki uzyskać można w oparciu o dokładniejsze modele akustyczne maszyn, które zostały opracowane w ramach II etapu zadania badawczego z wykorzystaniem metody inwersji [9].

Model zespołu kombajnowego kruszarka-przesiewacz bazuje na 7 zastępczych źródłach hałasu o określonych współrzędnych lokalizacji tych źródeł. Symulacje komputerowe z wykorzystaniem takich modeli do opracowania zabezpieczeń przeciwhałasowych będą przedmiotem dalszych badań i analiz w III etapie zadania badawczego.

Podsumowanie

Zabezpieczenia przeciwhałasowe, będące technicznymi środkami ograniczenia poziomu hałasu mają istotną rolę w kształtowaniu klimatu akustycznego w odkrywkowych kopalniach surowców skalnych. W artykule omówiono wybrane ogólne rozwiązania techniczne, mogące mieć zastosowanie przede wszystkim w dużych zakładach kopalnianych, gdzie eksploatowane są stacjonarne maszyny kruszące. Szczególną uwagę poświęcono także zakładom małym, wykorzystującym mobilne maszyny do kruszenia surowców skalnych i przesiewania kruszywa. Przeprowadzone w ramach zadania badawczego wstępne analizy wykazały, że emitowane do środowiska hałasy ciągłe, towarzyszące pracy tych maszyn, mogą mieć znacznie niższe poziomy, gdy zastosowane zostaną odpowiednie zabezpieczenia przeciwhałasowe.

Zaproponowane rozwiązania w postaci osłon pola operacyjnego kruszarki, jak również mobilnych ekranów akustycznych mają istotny wpływ na poprawę z jednej strony komfortu akustycznego operatorów tych maszyn, z drugiej – klimatu akustycznego w kopalni odkrywkowej.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Engel Z.W., Zawieska W.M. *Noise Control at the Workplace as an Element of Sustainable Development*. Proc. 18 International Congress on Sound and Vibration, Rio de Janeiro 2011, 1-8
- [2] Engel Z.W., Zawieska W.M. *Vibroacoustic Hazards caused by Machines and Devices used in Open Mines of Mineral Raw Materials*. Proc. of Inter-Noise, Shanghai 2008
- [3] Engel J., Kosala K. *Ryzyko zawodowe ze względu na hałas na wybranych stanowiskach pracy w kopalniach surowców mineralnych*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2005, 420, 10:6-9
- [4] Engel J.R., Kosala K. *Sources of Vibroacoustic Hazards in Open-pit Mines of Mineral Raw Materials*. „Archives of Acoustics” 2007, 32, 2:251-262
- [5] [http://www.metso.com/mining-and-construction/MaTobox7.nsf/DocsByID/C456ED9F5C9B39B7C2256DAC00206B4D/\\$File/CseriesEnglish.pdf](http://www.metso.com/mining-and-construction/MaTobox7.nsf/DocsByID/C456ED9F5C9B39B7C2256DAC00206B4D/$File/CseriesEnglish.pdf), wrzesień 2012
- [6] <http://www.hse.gov.uk/noise/casestudies/soundsolutions/loadingdumptrucks.htm>, wrzesień 2012
- [7] Engel J.R., Kosala K. *The Methods of Noise Reduction Caused by Blasting Works in Open Pit Mines of Mineral Raw Materials*. CD-ROM Proceedings of the 33rd International Acoustical Conference – EAA Symposium, Strbske Pleso, Slovakia, October 4-6th, 2006, 37-40
- [8] Berbic N., Brigic A., Softić A. *Analyze and possibility of soil embankment and forest belt application as a noise barrier at open pit mine*. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2008, 24, 3/1
- [9] Pleban D., Piechowicz J., Kosala K. *Method of measuring the noise emitted by machines used in opencast mines of rock material using the inversion method*. „International Journal of Occupational Safety and Ergonomics” (w druku)

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.