



Zwalczanie zapylenia w górnictwie polskim

Zbigniew KUCZERA¹⁾, Bogusław PTASZYŃSKI²⁾

¹⁾ AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining and Geoengineering, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland; email: zkuczera@agh.edu.pl

²⁾ AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining and Geoengineering, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland; email: ptaszyns@agh.edu.pl

<http://doi.org/10.29227/IM-2019-02-31>

Submission date: 28-09-2019 | Review date: 02-11-2019

Abstrakt

W artykule omówiono istniejące rodzaje pyłów, których powstawanie towarzyszy działalności górniczej, zwłaszcza przy urabianiu mechanicznym skał. Omówiono podział pyłów ze względu na frakcje, zawartość wolnej krzemionki, stopień wchłaniania przez drogi oddechowe i wpływ na powstanie pylicy płuc. Przedstawiono różne sposoby zwalczania zapylenia w górnictwie polskim, w tym omówiono zasadnicze typy stosowanych odpylaczy mokrych i suchych oraz przeprowadzono analizę ich skuteczności w odniesieniu do obowiązujących wartości granicznych (NDS) w aspekcie bezpieczeństwa pracy.

Słowa kluczowe: pyły szkodliwe, pylica płuc, urabianie mechaniczne, zraszanie, odpylacz mokry, odpylacz suchy, skuteczność odpylania, bezpieczeństwo pracy

1. Wprowadzenie

Wydobywanie surowców w polskim górnictwie węglowym i rudnym wiąże się z intensywnym wykorzystaniem maszyn i urządzeń urabiających oraz transportowych. W czasie prowadzenia robót przygotowawczych i eksploatacyjnych powodują one rozprzestrzenianie dużych ilości pyłu w atmosferze kopalnianej, w tym pyłu szkodliwego dla zdrowia. Urządzenia odpylające w połączeniu ze sprawnie zaprojektowaną i wykonaną wentylacją są częścią systemu mającego na celu zapewnienie na stanowisku pracy wystarczającej ilości czystego, tzn. przydatnego do oddychania powietrza. Metody zwalczania zapylenia powietrza polegające na jego odpylaniu oraz zraszaniu przyczyniają się do zwiększenia bezpieczeństwa pracy załogi górniczej, szczególnie w miejscach pracy o ciągłej ekspozycji na działanie pyłów szkodliwych dla zdrowia. Zmniejszenie zapylenia w powietrzu kopalnianym znacząco wpływa na polepszenie warunków pracy i mniejszą zachorowalność na pylicę płuc.

2. Podział pyłów przemysłowych

Pył przemysłowy to dyspersyjna mieszanka substancji stałych z powietrzem, powstająca głównie w wyniku mechanicznych procesów urabiania, rozdrabniania i transportu skał oraz innych materiałów stałych. W kontakcie z organizmem człowieka, może być przyczyną uszkodzeń mechanicznych błon śluzowych, choroby uczuleniowej, pylicy płuc a nawet choroby nowotworowej [6]. W kopalniach węgla kamiennego występuje pył kamienny i węglowy. W niniejszym artykule ze względu na swoją szkodliwość i rozpowszechnienie największą uwagę poświęci się pyłom kamiennym zawierającym wolną krzemionkę SiO₂. Pyły te rozpuszczają się w płynach ustrojowych i powodują zwłóknienie tkanki płucnej oraz działają toksycznie również na inne narządy organizmu ludzkiego [6].

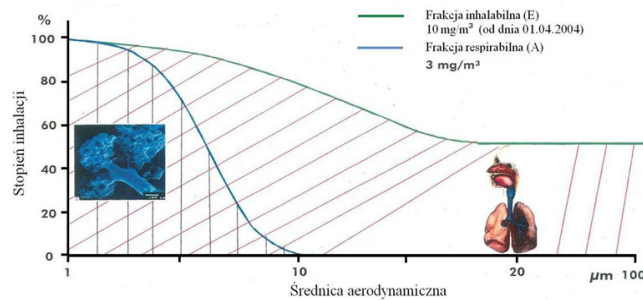
W sensie medycznym stopień inhalacji pyłu w ludzkich drogach oddechowych zależy przede wszystkim od wielkości cząsteczek pyłu. Cząsteczki o średnicy większej niż 10 µm wylapywane są już w komorach nosa i gardła. Dzięki włoskom migawkowym wyprowadzane są one z dróg oddechowych na zewnątrz. Cząsteczki w zakresie wielkości od 5 do 10 µm wychwytywane są w oskrzelach, a następnie wydzielane są również na zewnątrz. Tylko cząsteczki mniejsze od 5 µm mogą dostać się do obszarów pęcherzyków płucnych i w pewnych okolicznościach szczególnie te poniżej 1 µm mogą spowodować pylicę płuc, która jest jedną z najczęstszych chorób zawodowych w górnictwie.

Stopień inhalacji cząsteczek pyłu zarówno frakcji inhalabilnej typu E jak i respirabilnej typu A w zależności od ich średnicy aerodynamicznej został przedstawiony graficznie na rysunku 1.

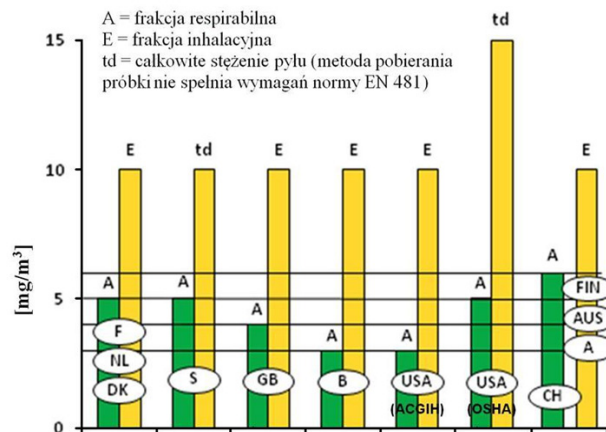
Na rysunku 2 pokazano zestawienie wartości granicznych (NDS) pyłów szkodliwych dla zdrowia obowiązujących w krajach UE i USA. Wartość graniczna dla pyłu typu E wynosi 10 mg/m³, natomiast wartość graniczna dla pyłu typu A mieści się w zakresie od 3 do 5 mg/m³. W Polsce wartość graniczna dla pyłu typu E wynosi również 10 mg/m³ [4].

W tabeli 1 przedstawiono wartości NDS dotyczące frakcji respirabilnej i całkowitej w miejscu pracy dla węgla kamiennego i brunatnego w zależności od zawartości wolnej krzemionki.

Aby osiągnąć takie wartości, należy przeprowadzić kompleksową redukcję procesu powstawania pyłów. Jeśli w wyniku zastosowanych środków obciążenie pyłowe nie jest redukowane w wystarczającym stopniu, mogą być stosowane jako dodatkowy środek zabezpieczający także maski i hełmy przeciwpyłowe. Należy jednak pamiętać o tym, że w wyniku ich stosowania wzrasta opór oddychania pracownika i założenie masek przeciwpyłowych jako środka dla redukcji osobistego obciążenia pyłowego jest uznawane jedynie jako



Rys. 1. Stopień inhalacji pyłu do dróg oddechowych [1]
Fig. 1. The degree of inhalation of dust to the respiratory tract [1]



Rys. 2. Wartości graniczne dla pyłów typu E i A [1]
Fig. 2. Limit values for dust types E and A [1]

Tab. 1. Wartości NDS w miejscu pracy dla pyłów węgla kamiennego i brunatnego (Polska) w zależności od zawartości SiO₂ [4]
Tab. 1. MAC (Maximum Allowed Concentration) values for hard coal and brown coal dust (Poland) depending on the SiO₂ content [4]

SiO ₂	< 2%	2–10%	10–50%	>50%
Frakcja respirabilna	-	2 mg/m ³	1 mg/m ³	0,3 mg/m ³
Frakcja całkowita	10 mg/m ³	4 mg/m ³	2 mg/m ³	1 mg/m ³

środek doraźny. Wydanie masek przeciwpyłowych zatrudnionym nie upoważnia przedsiębiorcę do stałego przekraczania wartości granicznej zapylenia.

3. Sposoby zwalczania zapylenia w górnictwie polskim

W procesie urabiania i transportu węgla oraz skał towarzyszących powstają duże ilości pyłu przemysłowego. Ze względu na miejsce jego powstawania w górnictwie jako profilaktykę zbiorową pracowników wykorzystuje się głównie zraszanie (na organach maszyn urabiających, przespach, kruszarkach) oraz urządzenia odpylające typu mokrego i suchego współpracujące z systemami wentylacji odrębnej [7].

3.1 Zraszanie

W przemyśle wydobywczym zastosowanie urządzeń filtrujących nie zawsze jest wykonalne. Główną tego przyczyną jest brak miejsca na zainstalować urządzeń odpylających, dlatego stosowane są proste metody zwalczania zagrożenia pyłowego, takie jak zraszanie.

Systemy zraszania stosowane są najczęściej przy przespach i kruszarkach oraz jako zintegrowane systemy z organami urabiającymi kombajnów oraz urządzeniami stru-

gowymi. Systemy zraszania stanowią pierwotne chłodzenie noży w celu zmniejszenia zagrożenia zapłonem, mogą jednak wtedy wiązać maksymalnie 50–60% pyłów respirabilnych. W przypadku przespach lub zamkniętych instalacji kruszenia może być osiągnięta wydajność separacji nawet rzędu 80–90%. W celu polepszenia skuteczności zastosowania systemów zraszania do układu mogą być dodawane środki powierzchniowo-czynne obniżające napięcie powierzchniowe cieczy i tym samym gwarantujące lepsze wiązanie pomiędzy pyłem i roztworem wody zawierającym te środki.

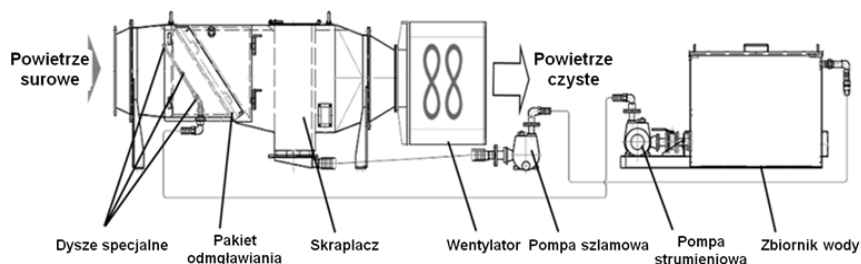
W przypadku stosowania dodatków, z reguły przy niższym zużyciu wody (do około 30%) tworzenie się pyłu drobnodispersyjnego redukowane jest o około 10%. W wyniku niewystarczającej redukcji zagrożenia pyłowego przez systemy zraszania jedynie urządzenia odpylające są w stanie oczyszczać powietrze do poziomu jakości wymaganego wartości NDS dla pyłów szkodliwych dla zdrowia podanych w przepisach [4].

3.2 Odpylanie

Urządzenie odpylające ze względu na budowę i zasadę działania można podzielić na odpylacze mokre lub su-



Rys. 4. Zraszanie w strefie ściany [3]
Fig. 4. Sprinkling in the longwall area [3]



Rys. 5. Zasada działania odpylacza mokrego [3]
Fig. 5. Operating principle of a wet dust collector [3]



Rys. 6. Przykład odpylacza mokrego HCN z wentylatorem promieniowym [3]
Fig. 6. An example of a HCN wet dust collector with a radial fan [3]

che. Stanowią one ważny element systemu wentylacyjnego w czasie drążenia wyrobisk, który ma zapewnić bezpieczne warunki pracy.

3.2.1. Odpylacze mokre

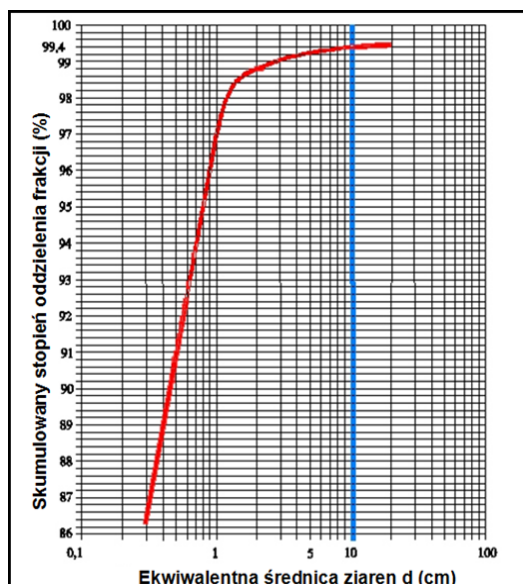
Odpylacze mokre działają na zasadzie oczyszczania powietrza zawierającego pył poprzez przechwycenie pyłu z powietrza przez kropelki wody, a następnie oddzielenie kropli wody od powietrza. Specjalne dysze generują kurtynę wodną oddziałującą na zasysane zanieczyszczone powietrze. Mieszanka pyłu, wody i powietrza przepływa przez „demister” (odmgławiacz), w którym następuje dalsze mieszanie mediów. Skraplacz oddziela szlam i pozostałości wody od powietrza, a oczyszczone powietrze opuszcza system przez wentylator, który wytwarza odpowiednie podciśnienie, a umieszczony jest dalej w strumieniu czystym powietrza. Oddzielona mieszanka wody i pyłu jest odpompowana do zbiornika w celu sedimentacji. Zbiornik ten może być umieszczony razem z urządzeniem bądź oddzielnie. Oczyszczona po sedimentacji woda ponownie wraca do dysz skraplających przy użyciu pompy strumieniowej [3]. Budowę i zasadę działania odpylacza mokrego przedstawiono schematycznie na rysunku 5.

Przykładowe zastosowanie odpylacza mokrego HCN z wentylatorem promieniowym przedstawiono na rysunku 6.

Odpylacz mokry typu HCN (Hoeko-Vent) działa standardowo z wydajnością od 100 do 1500 m³/min i według DMT (Deutsche Montan Technologie) z Essen, przy obciążeniu pyłem 2000 mg/m³, osiąga stopień separacji 99,4% dla pyłu frakcji respirabilnej poniżej 10 μm (rysunek 7) [3].

Dla wszystkich odpylaczy mokrych stopień separacji ulega stagnacji, co znaczy, że im większy jest ładunek pyłu w zanieczyszczonym powietrzu, tym większa jest zawartość resztkowa pyłu. Stopień separacji pogarsza się także w miarę zmniejszania się cząsteczek pyłu. Tak więc zawsze należy brać pod uwagę stopień oddzielenia dla frakcji respirabilnej pyłu. Bardziej zrozumiałą jest czasami termin stopień przepuszczania. Dostępne na rynku odpylacze typu mokrego mają stopień przepuszczania równy ok. 3–5%, co odpowiada stopniowi separacji równemu 95–97%.

Na rysunku 8 przedstawiono zestawienie podane w pracach [3, 4], które dotyczy frakcji respirabilnej pyłu szkodliwego dla zdrowia. Mimo skuteczności odpylania 99,4%, która osiągana jest tylko przez odpylacze typu HCN, nadal nie można mówić o całkowitym wyeliminowaniu zagrożenia



Rys. 7. Stopień separacji frakcji [3]
Fig. 7. Fraction separation degree [3]

Skuteczność	%	97	99,4
Wlotowe stężenie pyłu	mg / m ³	2000	2000
Wylotowe stężenie pyłu	mg / m ³	60	12
NDS: 2 mg/m ³		30 x	6 x

Rys. 8. Przykładowa skuteczność odpylania mokrego dla frakcji respirabilnej przy założonej wartości NDS [3, 4]
Fig. 8. Example efficiency of a wet dedusting for respirable fraction at the assumed MAC value [3, 4]

pyłami drobnodispersyjnymi. Polska norma PN-G-52002 „Urządzenia odpylające w górnictwie podziemnym” w punkcie 5 precyzując m.in. wymagania względem stopnia skuteczności całkowitej odpylacza na minimum 99%, zaś w zakresie frakcji respirabilnej pyłu całkowity stopień absorpcji na przynajmniej 95%, sankcjonuje tym samym niedostateczną skuteczność odpylania budowanych w oparciu o nią urządzeń odpylających.

3.2.2. Odpylacze suche

Zaostrzenie prawa w zakresie stężeń pyłu, zwłaszcza najwyższych dopuszczalnych stężeń pyłu zawierającego wolną krzemionkę, doprowadziło do odejścia w całej Europie od stosowania odpylaczy mokrych. Wszystkie projekty tunelowe realizowane za pomocą maszyn urabiających typu TBM lub kombajnów chodnikowych wykorzystują suchą metodę odpylania. Suche odpylacze zatrzymują pył na materiale filtra, a następnie są oczyszczane za pomocą impulsu pneumatycznego, skierowanego w przeciwnym kierunku i powtarzanego cyklicznie. Proces ten przedstawiono na rysunku 9.

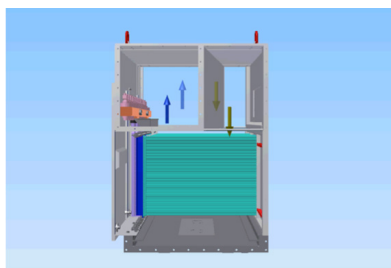
Odpylacze kompaktowe dostępne są dla wydajności objętościowych od 30 do 3000 m³/min. Odpowiednie wymogi dotyczące ochrony przeciwpożarowej i antystatycznej są spełnione przez zastosowanie specjalnego materiału i zabezpieczenie przed gromadzeniem się ładunków elektrycznych (rysunek 9 i 10).

Stosowane są różnorodne systemy rozładunku pyłu, takie jak przenośnik ślimakowy z bunkrem, przenośnik łańcuchowy, rurowy czy przenośnik dwułańcuchowy. Wysoko skuteczne systemy oczyszczania zapewniają optymalne usuwanie pyłu.

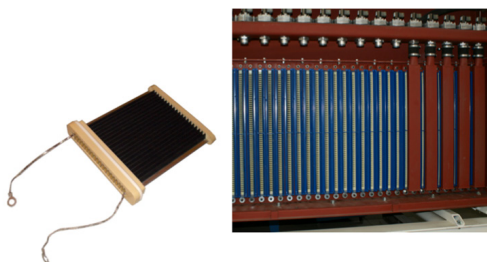
Do konkretnego odpylacza dobiera się wentylator o parametrach zapewniających odpowiednie podciśnienie. Kompaktowe odpylacze stosowane w odpylaniu suchym produkcji CFT osiągają zawartość pyłu w oczyszczonym powietrzu poniżej 0,1 mg/m³ (rysunek 11).

5. Zastosowanie systemów odpylających w górnictwie polskim

W górnictwie polskim systemy odpylania (pomijając układy zraszające) w większości bazują na odpylaczach typu mokrego, urządzenia te są tańsze w porównaniu do odpylaczy typu suchego, mają bardziej zwartą budowę, ale cechuje je większa ilość pyłu przepuszczana przez odpylacz. Ze względu na zasadę działania mogą powodować wzrost wilgotności względnej w wyrobisku. Odpylacze typu suchego pozwalają na praktycznie prawie całkowite wyeliminowanie zapylenia w miejscach jego emisji, osiągając wartości zapylenia poniżej 0,1 mg/m³ dla frakcji respirabilnej poniżej 5 μm. Nie powodują one wzrostu wilgotności względnej powietrza kopalnianego, stąd znajdują zastosowanie w górnictwie solnym. Mogą być opcjonalnie zaopatrzone w automatycznie sterowane upusty powietrza, które mają na celu obniżenie stężenia metanu na wylocie odpylacza po jego włączeniu, dlatego mogą być stosowane w kopalniach metanowych. Ze względu na wyższą cenę zakupu w stosunku do odpylaczy typu mokrego mają stosunkowo mniejszy udział w zwalczaniu zapylenia w górnictwie polskim. W LW „Bogdanka” S.A. pracuje 10 sztuk odpylaczy suchych typu HBKM i HBKO (rys. 12), w PG „Silesia” Sp. z o.o. pracuje 6 sztuk odpylaczy typu HBKO, w PGG S.A. KWK „ROW” Ruch „Marcel” pracuje



Rys. 9. Proces oczyszczania w odpylaczach filtrujących suchych [3]
Fig. 9. Cleaning process in dry dedusters [3]



Rys. 10. Konstrukcja suchego odpylacza kompaktowego [3]
Fig. 10. Construction of a dry compact deduster [3]

Ilość powietrza (Gęstość = 1,2 kg / m ³)	m ³ / s	15,0*
Całkowita strata ciśnienia	Pa	1950*
Wlotowe stężenie pyłu	mg / m ³	2000
Wylotowe stężenie pyłu	mg / m ³	0,068
Sprawność	%	99,997
* = Wartość średnia		

Rys. 11. Przykładowe wyniki badania skuteczności odpylania suchego przez DMT [3]
Fig. 11. Sample testing results of the efficiency of dry dedusting by DMT [3]

jedno urządzenie odpylające typu HBKO, zaś w JSW S.A. KWK „Pniówek” zaczęło pracować jedno urządzenie o zwartej konstrukcji wyposażone w opcjonalny upust powietrza przy jego włączeniu typu HBKO (wersja skrócona).

W KGHM S.A. ZG „Polkowice-Sieroszowice” pracuje wysokowydajny odpylacz suchy HTKK firmy CFT o wydajności 1500 m³/min, który w czasie urabiania mechanicznego soli kamiennej za pomocą kombajnu chodnikowego ATM 105 IC-P firmy SANDVIK odbiera i filtruje bardzo dużą ilość odpadowego pyłu solnego (rys. 13).

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując treść niniejszego artykułu, można wyciągnąć następujące wnioski końcowe:

- przy rozpatrywaniu problemu zwalczania pyłów szkodliwych dla zdrowia należy brać pod uwagę wyłącznie pyły respirabilne o frakcji poniżej 10 µm, zaś spośród tego zakresu najbardziej niebezpieczny jest pył o frakcji poniżej 5 µm a szczególnie poniżej 1 µm ponieważ najchętniej osiada on w pęcherzykach płucnych i w pewnych warunkach powoduje pylicę płuc;
- systemy zraszania mogą być stosowane w miejscach, w których nie ma możliwości zastosowania instalacji odpylających, skuteczność ich działania

jest bardzo niska i może wynosić maksymalnie do 90% dla pyłów respirabilnych w instalacjach zamkniętych, niestety ich zastosowanie wiąże się ze wzrostem wilgotności względnej powietrza i pogorszeniem warunków klimatycznych;

- to nie procentowo wyrażona skuteczność odpylania jest istotna, ale wyrażona w mg/m³ ilość pyłu przepuszczana przez odpylacz jest ważna ponieważ ona jest brana pod uwagę przez obowiązujące wartości NDS dotyczące zapylenia;
- mokra metoda odpylania nie gwarantuje wystarczającej skuteczności dla zapewnienia bezpiecznego miejsca pracy załogi górniczej pod kątem zapylenia;
- technologia suchego odpylania (odpylacze typu HBKO), wykorzystująca zwarte elementy filtrujące, umożliwia prawie całkowite wyeliminowanie zapylenia w miejscach jego emisji i utrzymanie wartości zapylenia poniżej 0,1 mg/m³ dla frakcji respirabilnej poniżej 5 µm są wielokrotnie mniejsze niż wymagane obecnie przepisami prawa dla pyłów szkodliwych dla zdrowia,
- suche odpylacze pozwalają na zastosowanie w drążonych wyrobiskach masek pyłowych o niższej klasie filtracji, co w efekcie przekłada się na mniejsze koszty profilaktyki pyłowej,



Rys. 12. Widok odpylacza suchego HBKO w LW „Bogdanka” S.A. [3]
 Fig. 12. View of the HBKO dry deduster at LW "Bogdanka" S.A. [3]



Rys. 13. Widok odpylacza suchego HTKK w komorze solnej w ZG „Polkowice-Sieroszowice” [3]
 Fig. 13. View of the HTKK dry deduster in the salt chamber at the "Polkowice-Sieroszowice" mine [3]

- w górnictwie polskim odpylacze mokre to najczęściej stosowane urządzenia w systemach filtrujących ze względu na niższą cenę zakupu w porównaniu do odpylaczy suchych, wymagają one jednak systematycznej kontroli zbiornika wody szlamowej, a ze względu na mniejszą skuteczność odpylania wymagają w konsekwencji stosowania masek o wyższej klasie filtracji,
- bazując na doświadczeniach LW „Bogdanka” S.A. i PG „Silesia” Sp. z.o.o inne polskie spółki górnicze zaczęły wdrażać pierwsze systemy filtrujące oparte na innowacyjnych odpylaczach suchych o zwartej konstrukcji typu HBKO (skrócona wersja),
- zwalczanie zapylenia w powietrzu kopalnianym w aspekcie bezpieczeństwa pracy załogi górniczej jest szczególnie ważne w przodkach kamiennie-węglowych drążonych za pomocą kombajnów chodnikowych, ponieważ ta załoga jest najbardziej narażona na najczęstszą chorobę zawodową w górnictwie – pylicę płuc.

Artykuł częściowo prezentowany na konferencji Bezpieczeństwo Pracy AGH 2018, SEP 2019 i IMF 2019.

Literatura – References

1. BIA, Instytut branżowy bezpieczeństwa pracy, Lome, Niemcy, 2002.
2. MAK und BAT Werte Liste 2001 (Lista wartości MAK i BAT 2001); Wiley-VCH, 2011.
3. Materiały firmy CFT, 2011-2019.
4. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. 2018 poz. 1286).
5. SuvaPpro; PDF: Grenzwerte am Arbeitsplatz (SuvaPro, Publikacje Instytutu Medycyny Pracy Lucerna, Szwajcaria - Wartości graniczne w miejscu pracy), 2011.
6. Szlązak J., Szlązak N., Bezpieczeństwo i higiena pracy, Uczelniane Wydawnictwa Naukowe -Dydaktyczne AGH, Kraków, 2005.
7. Wacławik J., Wentylacja kopalń cz. 1 i 2. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2010.

Dust Control in Poland Mining

In this article various types of dust created by mining activities have been discussed. Especially the dust which is formed during mechanical rock-cutting. Classification of particular kinds of dust considering its particle size, silicose content as well as inhalation level has been discussed and effect on the pneumoconiosis. Different ways of polish mining dust suppression have been presented and their efficiency regarding maximum allowed concentration (MAC) have been analyzed in the work security aspect.

Keywords: damaging dusts, pneumoconiosis, mechanical dredging, mist, wet dust collector, dry dust collector, cleaning efficiency, safety work