

<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMTECH2021.10>

Zmniejszenie narażenia pracowników na pył w podziemnych kopalniach węgla

Magdalena Rozmus – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Dariusz Michalak – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: Procesom realizowanym w kopalni towarzyszy powstanie zapylenia, które stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników. Nie opracowano dotąd rozwiązań, które pozwoliłyby na wyeliminowanie tego zagrożenia, dlatego szczególnie istotne jest jego skuteczne ograniczanie. W rozdziale przedstawiono rozwiązania dla redukcji zagrożeń pyłowych w kopalniach, jakie opracowano w ramach projektu „Reducing risks from Occupational exposure to Coal Dust (ROCD)”.

Słowa kluczowe: pył, zagrożenia pyłowe, kopalnia, pylica płuc

Reducing workers' exposure to dust in underground coal mines

Abstract: Processes carried out in a mine are accompanied by the generation of dust, which poses a threat to the safety and health of employees. So far, no solutions have been developed to eliminate this hazard, therefore, its effective mitigation is particularly important. The chapter presents solutions for dust hazard reduction in mines, developed within the project "Reducing risks from Occupational exposure to Coal Dust (ROCD)".

Keywords: dust, dust hazard, coal mine, pneumoconiosis

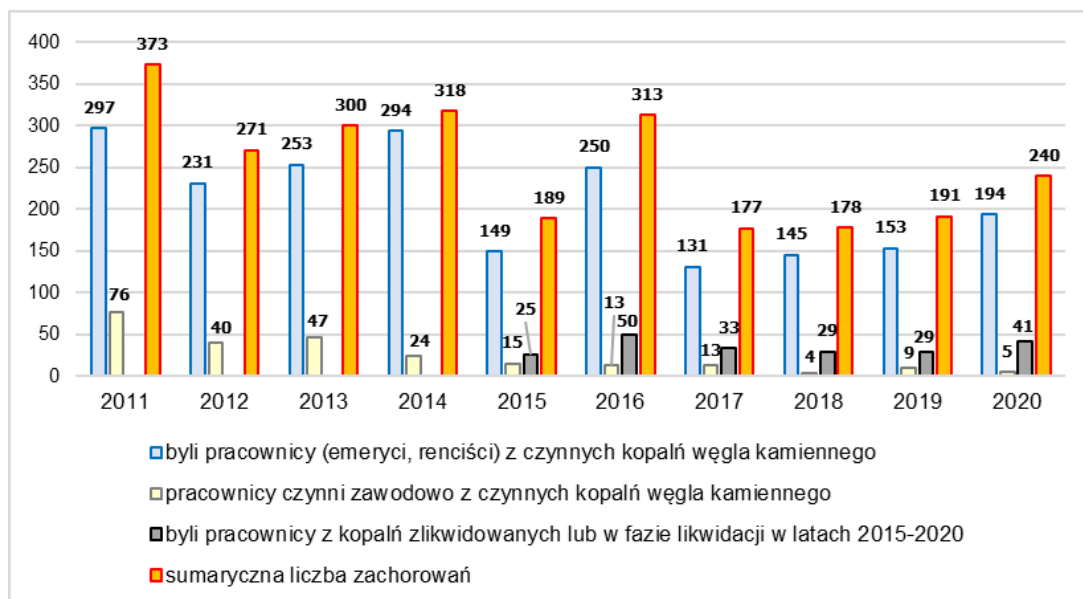
1. Wprowadzenie

Problem narażenia na pył oraz wynikających z tego negatywnych skutków dla zdrowia [1, 2] dotyczy górnictwa na całym świecie. Wśród chorób, na jakie zapadają pracownicy kopalń węgla znajduje się pylica płuc. Występowanie pylicy płuc wśród górników od lat jest przedmiotem badań i opracowań naukowych np.: [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Pylica płuc to choroba przewlekła, nieuleczalna i postępująca [9, 10]. Pojawia się po wielu latach narażenia na pył węglowy, a związane z nią zmiany w płucach rozwijają się nadal po zaprzestaniu przebywania w zapyłonym środowisku, a więc także, gdy pracownik zakończył już karierę zawodową.

W Polsce statystyki dotyczące pylicy płuc wśród pracowników kopalń węgla kamiennego prowadzone są m.in. przez Wyższy Urząd Górniczy (rys. 1). Znajduje w nich odzwierciedlenie wskazany wyżej specyficzny charakter tej choroby, tj. długotrwały rozwój oraz postępujący charakter. Przykładowo, w Polsce na 194 przypadki pylicy płuc zgłoszonych w 2020 roku przez byłych pracowników czynnych kopalń węgla kamiennego, 125 dotyczyło pracowników, którzy zakończyli pracę przed 2016 r., a 10 przed 2009 r. [12].

Pylica płuc jest chorobą, której można zapobiec poprzez zastosowanie odpowiednich środków technicznych i organizacyjnych, a mimo to jest najczęściej występującą chorobą zawodową wśród górników [5, 12, 13, 14, 15]. W tabeli 1 przedstawiono, jak kształtuje się zachorowalność na pylicę płuc na tle całkowitej zachorowalności na choroby zawodowe w polskim górnictwie.



Rys. 1. Liczba zachorowań na pylicę płuc wśród pracowników kopalń węgla kamiennego w Polsce (opracowanie własne na podstawie [11, 12])

Zachorowalność na choroby zawodowe w latach 2016-2020 w górnictwie węgla (opracowanie własne na podstawie [12])

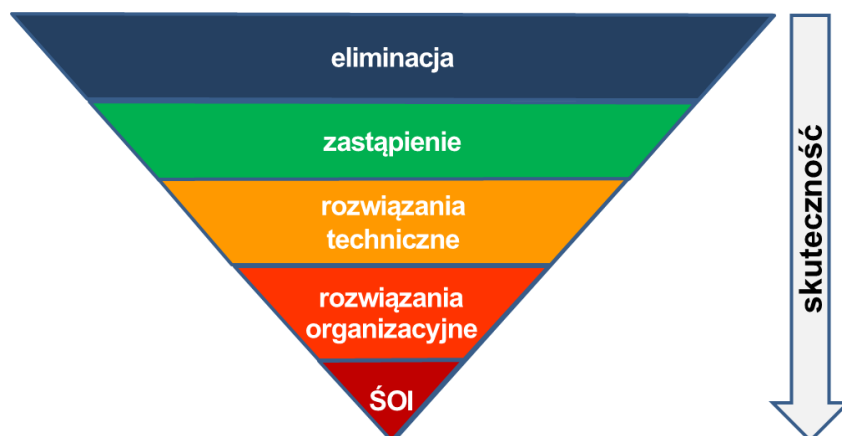
Tabela 1.

| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| Pylice płuc | 91% | 91% | 87% | 96% | 89% |
| Trwały ubytek słuchu | 5% | 6% | 8% | 2% | 4% |
| Zespół wibracyjny | 1% | 0% | 1% | 0% | 0% |
| Przewlekłe zapalenie oskrzeli | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% |
| Inne choroby zawodowe | 3% | 3% | 4% | 2% | 7% |

Na problemie redukcji zapylenia w kopalniach węgla oraz zwalczaniu zagrożeń, jakie powoduje (w tym dla zdrowia pracowników) skoncentrowano się w projekcie ROCD Reducing risks from Occupational exposure to Coal Dust [16], realizowanego w ramach Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCS).

2. Możliwości postępowania z zagrożeniami pyłowymi w kopalni węgla

Możliwości i zalecenia dotyczące postępowania w obliczu zagrożeń w miejscu pracy opisuje m.in. hierarchia środków zaradczych (ang. *hierarchy of controls*) opracowana przez NIOSH [17, 18]. Obejmuje ona następujące rozwiązania: eliminacja (usunięcie zagrożenia), zastąpienie (zastosowanie rozwiązania i/lub procesu powodującego mniejsze zagrożenie), rozwiązania techniczne (zastosowanie środków technicznych dla oddzielenia pracownika od zagrożenia lub zmniejszenia poziomu zagrożenia), rozwiązania organizacyjne (wpływanie na metody pracy, zachowania), ŚOI (zastosowanie środków ochrony indywidualnej). Graficzną reprezentacją hierarchii środków zaradczych jest odwrócona piramida, w której poszczególne pozycje charakteryzuje malejąca skuteczność (rys. 2).



Rys. 2. Piramida środków zaradczych wobec zagrożeń w miejscu pracy (na podstawie [17])

Specyfika procesów realizowanych w kopalni węgla uniemożliwia wyeliminowanie generowania pyłu. Trudno także o zastąpienie tych procesów innymi, o identycznym celu, ale które w znacznie mniejszym stopniu przyczyniają się do powstania zapylenia lub powodują inne, mniej szkodliwe zagrożenie [18]. Dlatego też szczególny nacisk musi zostać położony na następną pod względem skuteczności pozycję piramidy, tj. rozwiązania techniczne. Jednocześnie, biorąc pod uwagę poważne skutki zdrowotne ekspozycji na pył w kopalni, jako niezbędne należy postrzegać:

- zastosowanie środków ochrony układu oddechowego – półmasek,
- wdrożenie odpowiednich rozwiązań organizacyjnych - np. kształtowanie odpowiedniej kultury bezpieczeństwa pracy na poziomie organizacyjnym i na poziomie jednostki, w tym procedury nadzoru, uświadamianie pracowników nt. konieczności poprawnego stosowania półmasek; na związek kultury bezpieczeństwa ze zdrowiem pracowników, w tym chorób zawodowych, wskazano m.in. w [19, 20, 21, 22].

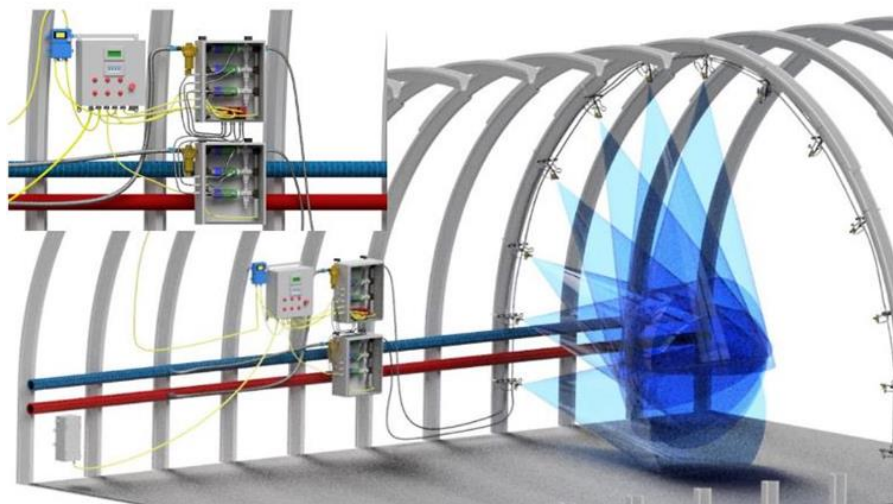
W projekcie ROCD uwzględniono trzy poziomy hierarchii środków zaradczych w postępowaniu wobec zagrożeń: rozwiązania techniczne (urządzenia służące redukcji zapylenia), rozwiązania organizacyjne (kształtowanie wiedzy i świadomości pracowników nt. zagrożeń pyłowych w kopalni), środki ochrony indywidualnej (skuteczność półmasek).

3. Przykłady rozwiązań opracowanych w projekcie ROCD

3.1. Rozwiązania techniczne służące redukcji zapylenia

Głównymi źródłami zapylenia w kopalniach węgla kamiennego są: urabianie calizny węglowej oraz procesy transportowania urobku, tj. ładowanie urobku na środki transportu oraz transport i przesypanie urobku na przenośnikach zgrzeblowych oraz taśmowych. Dla zmniejszenia zapylenia w wyrobiskach kopalni stosowane są m.in. instalacje zraszające (montowane na kombajnach chodnikowych, kombajnach ścianowych, obudowach w chodnikach i ścianach wydobywczych) oraz urządzenia odpylające [18, 23, 24, 25, 26, 27]. Stosowanie środków ochrony zbiorowej jest niezbędnym elementem redukcji zagrożenia pyłowego w kopalniach.

W ramach projektu opracowano inteligentne urządzenie zraszające SSD-1, mające redukować i zapobiegać rozprzestrzenianiu się pyłu PM_{2.5} oraz PM₁₀ w wyrobiskach (rys. 3).



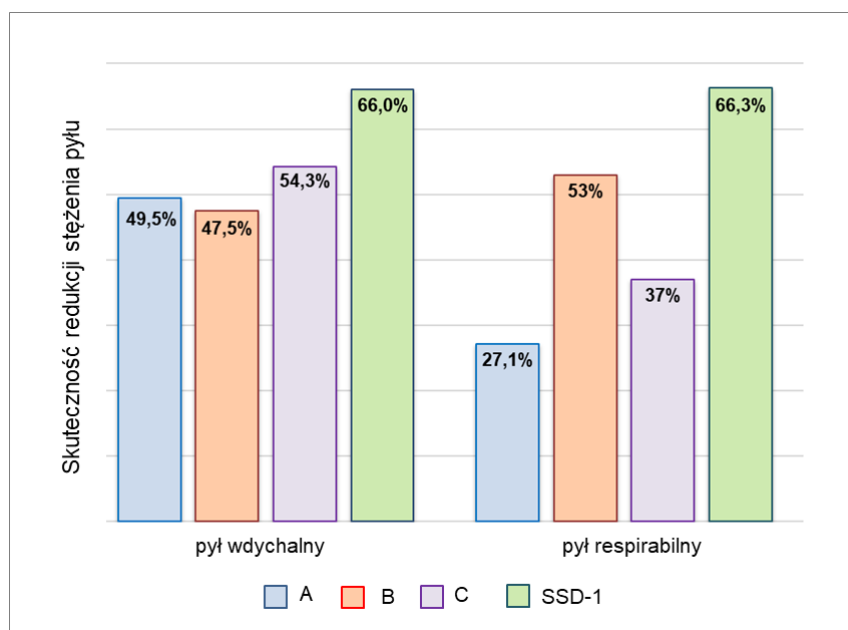
Rys. 3. Inteligentne urządzenie zraszające SSD-1 - wizualizacja (opracowanie własne na podstawie [28])

Projektując urządzenie przyjęto, że odpowiednie dostosowanie strumienia zraszającego do faktycznie istniejącego zapylenia przełoży się na skuteczność jego redukcji. Dlatego też, SSD-1 dostosowuje parametry strumienia zraszającego w zależności od zmierzonego stężenia pyłu. Dziewięć różnych kombinacji ustawień wartości ciśnienia wody i sprężonego powietrza jest uzyskiwane z trzech nastaw reduktorów ciśnienia wody i reduktorów sprężonego powietrza. Szczegółowy opis struktury i zasady działania SSD-1 przedstawiono w [28, 29].

Pomiar aktualnego stężenia pyłu realizowany jest urządzeniem EMIDUST, również utworzonym w ramach projektu ROCD. Pyłomierz ten posiada certyfikat ATEX. Może być wykorzystywany do jednoczesnego pomiaru poziomu frakcji pyłu PM_{2.5} i PM₁₀, także w strefach o wysokim stężeniu pyłu (do 200 mg/m³).

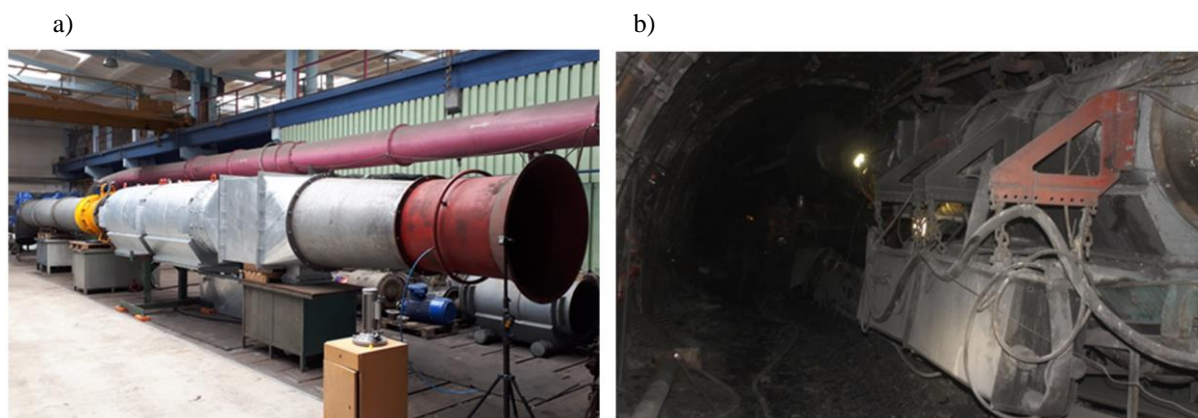
W porównaniu do innych urządzeń o identycznym przeznaczeniu, zastosowanie SSD-1 pozwala uzyskać większą skuteczność w redukcji pyłu, a jednocześnie wymaga mniejszego zużycia wody i sprężonego powietrza.

Utworzony prototyp poddano badaniom stanowiskowym w hali badawczej KOMAG-u oraz badaniom na kopalni Pniówek [28, 29, 30]. Porównanie SSD-1 – pod względem skuteczności redukcji stężenia pyłu – z innymi urządzeniami obecnie stosowanymi w polskich kopalniach (w tym jednego również zaprojektowanego przez KOMAG) przedstawiono na rys. 4. Uwzględniono pył wdychalny oraz pył respirabilny.



Rys. 4. Skuteczność redukcji stężenia pyłu z zastosowaniem SSD-1 oraz trzech innych urządzeń zraszających, (oznaczonych symbolami: A, B, C) [29]

Dla redukcji zapylenia w wyrobiskach kopalń, w projekcie ROCD zaprojektowano odpylacz dyspersyjny mokry OD-1000/1000. Prototyp został zabudowany i przetestowany w KOMAG-u (rys. 5a). Niezbędne okazały się ulepszenia, po wprowadzeniu których uzyskano dla odpylacza skuteczność odpylania na poziomie 99,2% dla frakcji wdychalnej pyłu oraz 97,2% dla frakcji respirabilnej. Następnie odpylacz został zainstalowany w kopalni Knurów, w chodniku, nad przenośnikiem i za kombajnem chodnikowym, gdzie pozostał i był stosowany aż do zakończenia prac związanych z wykonywaniem chodnika (rys. 5b).



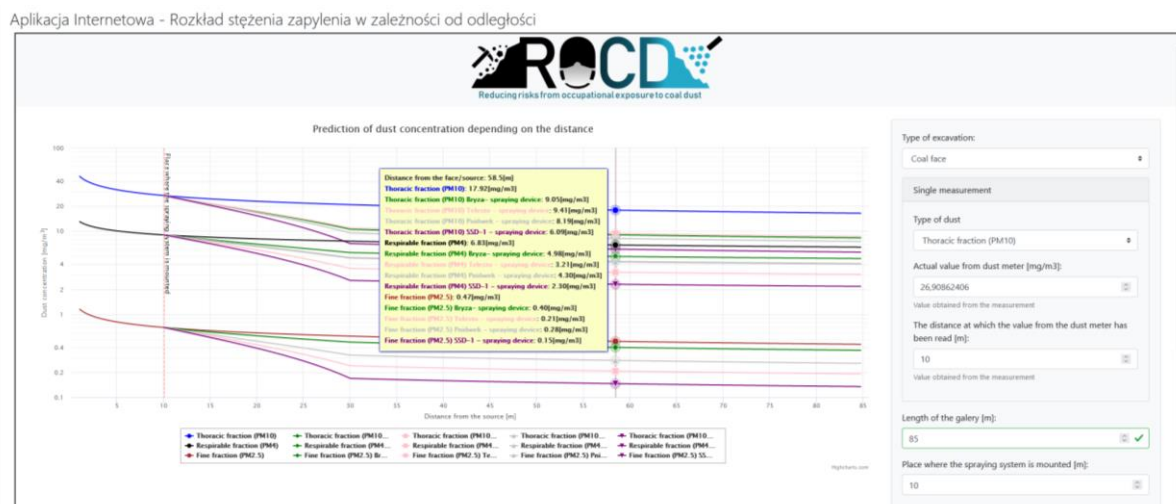
Rys. 5. Odpylacz dyspersyjny mokry OD-1000/1000: a) zabudowany na hali badawczej, b) zabudowany w kopalni [30]

3.2. Aplikacja do szacowania poziomu zapylenia w kopalni

W ramach projektu opracowano internetową aplikację do szacowania stężenia pyłu w zależności od odległości od jego źródła i zastosowania środków redukcji zapylenia (rys. 6). Uwzględniono trzy frakcje pyłu: PM10, PM4 i PM2,5 oraz zastosowanie czterech urządzeń zraszających, w tym SSD-1. Algorytmy zaimplementowane w aplikacji oparte są na modelach matematycznych rozprzestrzeniania się pyłu, jakie opracowano na podstawie pomiarów stężenia pyłu w kopalniach JSW S.A., PGG S.A.

oraz Premegovnik Velenje. Szczegóły dotyczące przeprowadzonych badań oraz opracowania ww. modeli przedstawiono w [31].

Aplikację udostępniono w ramach kursu ROCD, opisanego w następnym punkcie niniejszego rozdziału.



Rys. 6. Aplikacja do szacowania stężenia pyłu w wyrobisku kopalni [32]

Aplikacja pozwala pozyskać wiedzę na temat sposobu rozprzestrzeniania się pyłu w wyrobisku kopalni oraz jaki wpływ mają na to cztery przykładowe rozwiązania redukujące zapylenie. Może zostać ona wykorzystana przy podejmowaniu decyzji dotyczących rozwiązań (technicznych, organizacyjnych) służących ograniczaniu zagrożenia pyłowego.

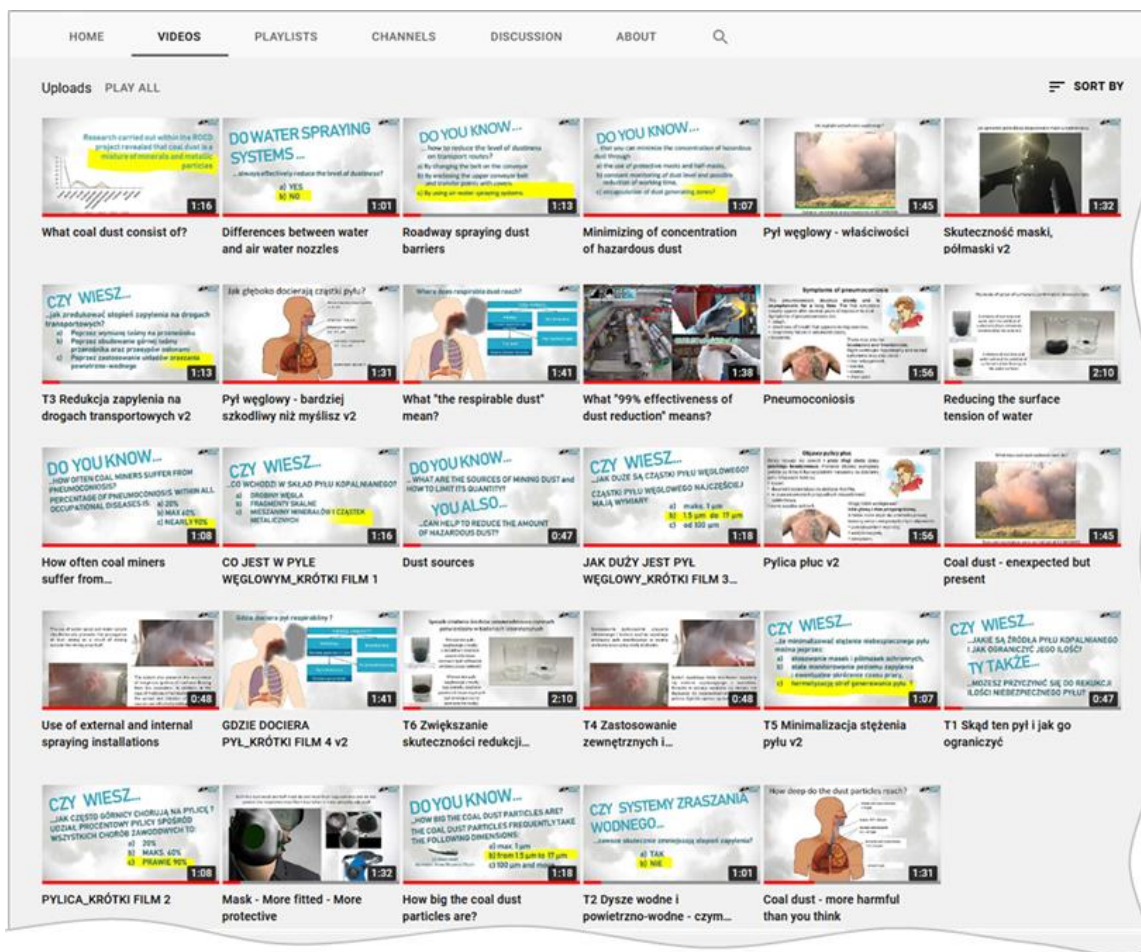
3.3. Materiały szkoleniowe na temat zagrożeń pyłowych w kopalni

Materiały szkoleniowe opracowane w projekcie są dostępne w języku polskim i angielskim – w ramach kursu e-learningowego (rys. 7) [32] oraz na kanale YouTube. Obejmują następujące tematy dotyczące zagrożeń pyłowych w kopalni: czym jest pył i jak się go klasyfikuje, skład pyłu kopalnianego, źródła pyłu w kopalni, zagrożenia powodowane przez pył, pomiar stężenia pyłu, prognozowanie stężenia pyłu, metody i środki redukcji zapylenia, ochrona układu oddechowego przed pyłem (rodzaje półmasek oraz ich poprawny dobór i zastosowanie).

Kurs zawiera słownik pojęć, prezentacje multimedialne, zadania interaktywne, filmy, ulotki oraz test. Te same filmy zamieszczone są również na kanale YouTube (rys. 8).



Rys. 7. Przykłady ekranów z prezentacji multimedialnych kursu ROCD [32]



Rys. 8. Kanał ROCD YouTube – widok miniatur udostępnionych filmów

3.4. Stanowisko do badania półmasek

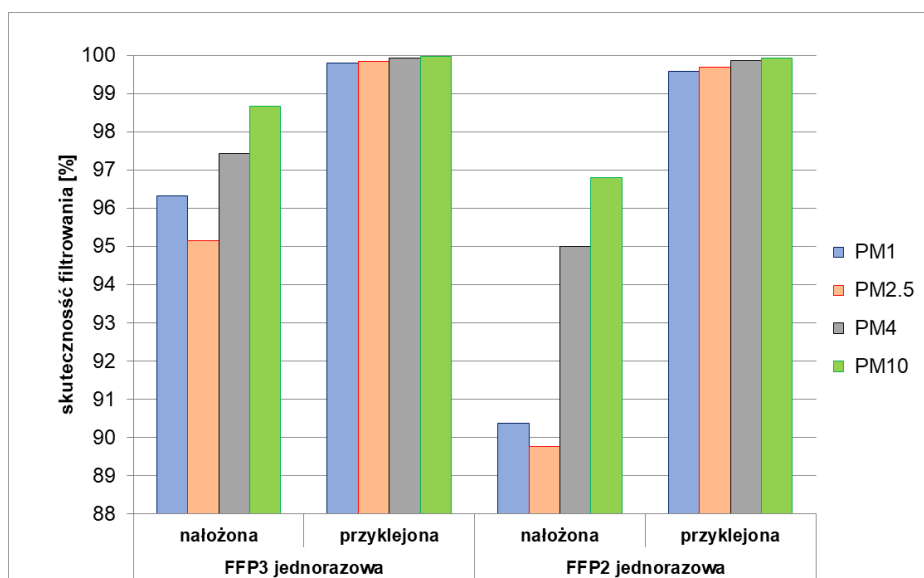
Półmaski to jedyna bariera oddzielająca układ oddechowy górnika od pyłu znajdującego się w jego środowisku pracy. Skuteczność półmaski zależy nie tylko od jej właściwości ochronnych (określonych przez klasę ochrony, tj. FFP1, FFP2, FFP3), ale także od poprawności jej stosowania, czyli odpowiedniego noszenia, dopasowania do twarzy oraz właściwej częstości zmiany półmaski jednorazowej lub filtrów półmaski wielokrotnego zastosowania [33, 34].

W projekcie ROCD opracowano i utworzono stanowisko do badania półmasek (rys. 9). Jest ono wyposażone w komorę pyłową ze sztuczną głową, na której nakładane są testowane półmaski, sztuczne płuco, komorę klimatyczną oraz urządzenie DustTrak™ do pomiaru stężenia pyłu wewnątrz komory i w powietrzu wdychanym. Dla zagwarantowania możliwości porównania otrzymanych wyników, a tym samym porównania półmasek w aspekcie oporu oddychania i skuteczności filtrowania, opracowana została również procedura realizacji badania. Szczegóły dotyczące struktury i zasady działania tego stanowiska, a także ww. procedura zostały przedstawione w [35].



Rys. 9. Stanowisko do badania półmasek utworzone w ramach projektu ROCD [35]

Podczas realizacji projektu, na stanowisku przebadano 7 półmasek stosowanych przez pracowników partnerów projektowych (JSW S.A., PGG S.A., Premegovnik Velenje, KOMAG). Badano takie parametry, jak opór oddychania i skuteczność filtrowania. Uwzględniono sytuację, gdy półmaska jest nałożona na sztuczną głowę oraz gdy półmaska (jej brzeg) jest przyklejona do sztucznej głowy. Dzięki temu zidentyfikowano różnicę wynikającą z tego, jak ściśle półmaska przylega do twarzy pracownika. Ponadto, uwzględniono: narażenie pracownika na pyły o różnych frakcjach (PM1, PM2.5, PM4, PM10), trzy tryby obciążenia pracą (lekka, średnio ciężka, ciężka) oraz liczbę cykli oddechowych (odzwierciedlają czas używania półmasek). Przykład wyników uzyskanych dla dwóch półmasek, w zależności od szczelności przylegania maski do twarzy pracownika, dla różnych frakcji pyłu przedstawiono na rysunku 10. Jak widać, w przypadku zbadanej półmasek o klasie ochrony FFP2, skuteczność filtrowania pyłów o frakcji PM1 i PM2.5 staje się znacząco wyższa, gdy ściśle przylega ona do twarzy i jest zbliżona do skuteczności zbadanej półmasek o klasie ochrony FFP3.



Rys. 10. Przykłady wyników uzyskanych z badania skuteczności filtrowania dwóch półmasek (opracowanie własne na podstawie [35])

4. Podsumowanie

Emisja pyłu nieodłącznie towarzyszy szeregu procesom realizowanym w kopalni. Bezpośrednim skutkiem są: zagrożenie wybuchem oraz zagrożenie zdrowia pracowników (przede wszystkim pylicą płuc). Brak możliwości eliminacji zapylenia sprawia, że szczególnie istotne staje się stosowanie rozwiązań, które redukują stężenie pyłu w wyrobiskach kopalni oraz rozwiązań, które skutecznie minimalizują ryzyko wdychania szkodliwego pyłu. Na obu rodzajach rozwiązań skoncentrowano się w projekcie ROCD.

Nawiązując do hierarchii środków zaradczych wobec zagrożeń, opracowanej przez NIOSH, należy stwierdzić, że w projekcie ROCD zastosowano kompleksowe podejście do ograniczania zapylenia w wyrobiskach kopalń i jego skutków zdrowotnych dla zdrowia znajdujących się w nich osób. Opracowano nowoczesne i skuteczne rozwiązania techniczne dla redukcji oraz dla monitorowania stężenia pyłu, a także dla oceny skuteczności środków ochrony układu oddechowego stosowanych w kopalniach – półmasek. Opracowano elektroniczne zasoby dostępne online, których celem jest zwiększenie wiedzy i świadomości nt. zagrożeń pyłowych. Zasoby te adresowane są do osób pracujących w podziemiu kopalń, a także do osób, które mają wpływ na ograniczanie tych zagrożeń i ich oddziaływanie na pracowników.

Literatura

1. Liu T., Liu S.H.: The impacts of coal dust on miners' health: A review. *Environ. Res.* 2020. 190, 109849; DOI: 10.1016/j.envres.2020.109849
2. Laney A.S., Weissman D.N.: Respiratory diseases caused by coalmine dust. *J Occup Environ Med.* 2014. 56(Suppl 10), pp. S18–22; DOI: 10.1097/JOM.0000000000000260
3. Hall N.B., Blackley D.J., Halldin C.N., Laney A.S.: Current Review of Pneumoconiosis Among US Coal Miners. *Curr Environ Health Rep.* 2019. 6(3), pp. 137-147; DOI: 10.1007/s40572-019-00237-5
4. Perret J.L., Plush B., Lachapelle P., Hinks T.S.C., Walter C., Clarke P., Irving L., Brady P., Dharmage S.C., Stewart A.: Coal mine dust lung disease in the modern era. *Asian Pac. Soc. Respirol.* 2017. 22, pp. 662–670; DOI: 10.1111/resp.13034
5. Han S., Chen H., Harvey M.A., Stemm E., & Cliff D.: Focusing on Coal Workers' Lung Diseases: A Comparative Analysis of China, Australia, and the United States. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018. 15(11), 2565; DOI: 10.3390/ijerph15112565
6. Torres Rey C. H., Ibañez Pinilla M., Briceño Ayala L., Checa Guerrero D. M., Morgan Torres G., Groot de Restrepo H., Varona Uribe M.: Underground Coal Mining: Relationship between Coal Dust Levels and Pneumoconiosis, in Two Regions of Colombia. *BioMed research international*, 2015, 647878; doi: 10.1155/2015/647878
7. Tomášková H., Šplíchalová A., Šlachťová H., et al.: Mortality in Miners with Coal-Workers' Pneumoconiosis in the Czech Republic in the Period 1992-2013. *Int J Environ Res Public Health* 2017. 14(3), 269; DOI: 10.3390/ijerph14030269
8. Brodny J., Tutak M.: Exposure to Harmful Dusts on Fully Powered Longwall Coal Mines in Poland. *International journal of environmental research and public health* 2018, 15(9), 1846; DOI: 10.3390/ijerph15091846
9. Zosky G.R., Hoy R.F., Silverstone E.J., Brims F.J., Miles S., Johnson A.R., Gibson P.G., Yates D.H.: Coal workers' pneumoconiosis: An Australian perspective. *MJA.* 2016, 204 (11), pp. 414–418; DOI:10.5694/mja16.00357

10. Barber C., Fishwick D.: Pneumoconiosis. *Medicinae* 2016. 44(6), pp. 355-358; DOI:10.1016/j.mpmed.2016.03.001
11. Wyższy Urząd Górniczy: Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością geologiczno-górnictwem w 2015 roku; WUG, Katowice 2016
12. Wyższy Urząd Górniczy: Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością geologiczno-górnictwem w 2020 roku. WUG, Katowice 2021
13. Świątkowska B., Hanke W.: Choroby zawodowe w Polsce w 2016 roku. *Medycyna Pracy* 2018. 69(6), str. 643-650; DOI: 10.13075/mp.5893.00745
14. Coal workers pneumoconiosis — Level 4 cause. http://www.healthdata.org/results/gbd_summaries/2019/coal-workers-pneumoconiosis-level-4-cause; (dostęp: 28.10.2021)
15. Leonard R., Zulfikar R., Stansbury R.: Coal mining and lung disease in the 21st century. *Curr Opin Pulm Med.* 2020. 26(2), pp.135-141. DOI:10.1097/MCP.0000000000000653
16. Strona internetowa projektu ROCD, <https://emps.exeter.ac.uk/csm/rocd/> (dostęp: 30.10.2021)
17. Hierarchy of Controls; <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html> (dostęp: 30.10.2021)
18. Colinet J.F., Halldin C.N., Schall J.: Best Practices for Dust Control in Coal Mining. Second Edition. NIOSH 2021, Publication No. 2021-119, IC 9532. DOI: 10.26616/NIOSH PUB2021119
19. Studenski R.: Kultura bezpieczeństwa pracy w przedsiębiorstwie. *Bezpieczeństwo Pracy* 2020, 9
20. Iwko J., Iwko J.: Znaczenie kształtowania kultury bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie* 2018, z.131, s. 167-182; DOI: 10.29119/1641-3466.2018.131.12
21. Kim Y., Park J., Park M.: Creating a Culture of Prevention in Occupational Safety and Health Practice. *Saf Health Work* 2016; 7(2), pp.89-96; DOI: 10.1016/j.shaw.2016.02.002
22. Stańczak L., Kaniak W.: Occupational health and safety management in hard coal mines in the aspect of dust hazard. *Min. Mach.* 2021, nr 2, s. 53-62, DOI:10.32056/KOMAG2021.2.6, ISSN 2719-3306
23. Bałaga D., Jedzianiak M., Kalita M., Siegmund M., Szkudlarek Z.: Metody i środki zwalczania zagrożeń pyłowych i metanowych w górnictwie węglowym. *Masz. Gór.* 2015. Nr 3, s. 68-81; ISSN 0209-3693
24. Bałaga D., Siegmund M., Prostański D., Kalita M.: Innowacyjny system zraszania dla wyrobisk ścianowych. *Masz. Gór.* 2016. Nr 3, s. 14-22; ISSN 2450-9442
25. Kuczera Z., Ptaszyński B.: Zwalczanie zapylenia w górnictwie polskim. *Inż. Miner.* 2019. 21(1/2), s. 191-187; DOI: 10.29227/IM-2019-02-31
26. Xu J., Wang H.: Underground Intelligent Dry Dust Collector in the Coal Mine. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. 647, 012051; DOI:10.1088/1755-1315/647/1/012051
27. Ji Y., Ren T., Wynne P., Wan Z., Ma Z., Wang Z.: A comparative study of dust control practices in Chinese and Australian longwall coal mines. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2016, 26, pp.199-208; DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.12.004.
28. Bałaga D.: Intelligent spraying installation for dust control in mine workings. *OP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. 679, 012019; DOI:10.1088/1757-899X/679/1/012019

29. Bałaga D., Siegmund M., Kalita M., Williamson B.J., Walentek A., Małachowski M., Selection of operational parameters for a smart spraying system to control airborne PM10 and PM2.5 dusts in underground coal mines. *Process Saf. Environ. Prot.* 2021. 148, pp. 482-494; DOI: 10.1016/j.psep.2020.10.001
30. Reducing risks from Occupational exposure to Coal Dust (ROCD). Final Report. January 2021 (materiały niepublikowane)
31. Bałaga D., Kalita M., Dobrzaniecki P., Jendrysik S., Kaczmarczyk K., Kotwica K., Jonczy I. Analysis and Forecasting of PM2.5, PM4, and PM10 Dust Concentrations, Based on In Situ Tests in Hard Coal Mines. *Energies* 2021. 14, 5527. DOI:10.3390/en14175527
32. Zagrożenia pyłowe w kopalniach oraz sposoby ograniczania ich oddziaływania, kurs e-learningowy, <https://elearning.komag.eu/course/view.php?id=11> (dostęp: 29.10.2021)
33. Health and Safety Laboratory: Research Report RR1052. The effect of wearer stubble on the protection given by Filtering Facepieces Class 3 (FFP3) and Half Masks. <https://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr1052.pdf> (dostęp: 28.10.2021)
34. Han DH, Park Y, Woo JJ. Effect of the tight fitting net on fit performance in single-use filtering facepieces for Koreans. *Ind Health.* 2018, 56(1), pp. 78-84. DOI:10.2486/indhealth.2017-0069
35. Drwięga A., Williamson B., Foster P., Lesiak K.: Effectiveness of half masks for respiratory health protection in coal mining. *Mining Machines* 2021. 39(3), pp. 2-17; DOI: 10.32056/KOMAG2021.3.1