



Ocena ryzyka zdrowotnego związanego ze szkodliwym oddziaływaniem pyłu kopalnianego na organizm człowieka, na przykładzie stanowiska pracy – kombajnista w ścianie

Risk assessment of health risk associated with harmful action of minimized particular dust on the human organism, on the example of a job position - shearer operate in the longwall

Dr inż. Anna Morcinek – Słota^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono problematykę związaną ze szkodliwym oddziaływaniem pyłów (w tym pyłu węglowego) na organizm człowieka. Omówiono ogólne pojęcie pyłu, jego podział oraz główne źródła zapylenia. Przedstawiono skutki zdrowotne związane ze szkodliwym działaniem pyłów. Dokonano także analizy i oceny ryzyka zdrowotnego związanego z zapyleniem na stanowisku kombajnisty w ścianie. Omówiono czynniki, które przyczyniają się do powstania pyłu oraz sposoby redukcji i zwalczania zagrożenia pyłowego.

Abstract: The article presents the problems associated with the harmful effects of dust (including coal dust) on the human body. The general concept of dust, its distribution and the main sources of pollination are discussed. Health effects related to the harmful effects of dust are presented. An analysis and assessment of health risk related to pollination at the cutter-loader's position in the wall was made. Factors that contribute to the excessive formation of dust and methods of reducing and combating the dust hazard are discussed.

Słowa kluczowe:

pyły szkodliwe dla zdrowia, pył węglowy, ocena ryzyka zawodowego

Keywords:

dust harmful to health, coal dust, risk assessment

1. Wprowadzenie

Pyły są jednym z głównych czynników szkodliwych występujących w środowisku pracy. Główną drogą przedostawania się pyłów do organizmu człowieka jest układ oddechowy. Działanie pyłów na organizm ludzki może być przyczyną mechanicznego uszkodzenia błon śluzowych, choroby uczuleniowej, pylicy płuc, a także choroby nowotworowej (Gromiec 2004)].

Głównymi źródłami emisji pyłów na stanowiskach pracy są procesy technologiczne. W zależności od rodzaju zastosowanego procesu technologicznego, emitowane pyły charakteryzują się różnymi własnościami. Do najbardziej pyłotwórczych procesów technologicznych należy: mielenie, kruszenie, przesiewanie, transport i mieszanie ciał sypkich. Jednakże najwięcej pyłów wysokodispersyjnych, najbardziej szkodliwych dla ludzi, powstaje w trakcie ostrzenia, szlifowania oraz polerowania (Gromiec 2004).

Pyły można podzielić - ze względu na rodzaj działania biologicznego, szkodliwego dla człowieka - na pyły o działaniu: drażniącym, zwłókniającym, kancerogennym i alergizującym. Ważnymi parametrami wpływającymi na skutki działania pyłu na organizm człowieka są: stężenie pyłu, wymiary i kształt cząstek oraz skład chemiczny i struktura krystaliczna, a także

rozpuszczalność pyłu w płynach ustrojowych. Właściwości osobnicze człowieka, zarówno genetyczne, jak i nabyte, mogą również wpływać na jego wrażliwość na działanie pyłu. Ostateczny skutek szkodliwego działania pyłów przemysłowych zależy także od ciężkości wykonywanej pracy fizycznej. Ze względu na skutki zdrowotne, najważniejsze są cząstki frakcji respirabilnej (Rozporządzenie ... 2018)], tzn. frakcji aerozolu wnikażącej do dróg oddechowych, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej, określona zgodnie z normą PN-EN 481. Ten pył jest odpowiedzialny za rozwój pylicy płuc, większości nowotworów oraz zapalenia pęcherzyków płucnych (Gromiec 2004).

Tryb i częstotliwość dokonywania badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia występujących w środowisku pracy reguluje Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 02.02.2011 r., zgodnie z którym pracodawca, w którego zakładzie pracy występują szkodliwe dla zdrowia pyły, jest obowiązany do dokonywania badań i pomiarów stężeń pyłów (Rozporządzenie ... 2011).

2. Pyły – źródła emisji pyłów oraz ich wpływ na organizm człowieka

Pyłem nazywamy cząsteczki emitowane do środowiska podczas różnego rodzaju naturalnych lub sztucznych procesów pyłotwórczych (Gromiec 2004).

^{*)} Politechnika Śląska, WGIBiAP

Do naturalnych źródeł pyłu zaliczamy: wybuchy wulkanów, pożary lasów, pyły roślin, mikroorganizmy czy erozja gleby. Natomiast sztuczne to te wytwarzane przez przemysł np. górniczy, budowlany, energetyczny, chemiczny itp. (Gromiec 2004).

Główne źródła zapylenia powietrza kopalnianego to (Krause 2008):

- urabianie calizny węglowej w ścianach za pomocą kombajnów,
- drażnienie wyrobisk korytarzowych,
- rozdrabnianie i transport urobku,
- przesuwanie sekcji obudów zmechanizowanych.

Pyły szkodliwe można podzielić ze względu na rodzaj działania biologicznego i szkodliwego dla człowieka na pyły o działaniu:

- drażniącym (cząstki węgla, żelaza, szkła, aluminium, związku baru, itp.)
- zwłókniającym (cząstki kwarcu, krystobalitu, trydymitu, azbestu, talku, kaolinu, pyły rud żelaznych i pył węglowy),
- kancerogennym (azbest, ogniotrwałe włókna ceramiczne do specjalnych celów),
- alergizującym (pyły pochodzenia roślinnego, zwierzęcego, leki, pyły arsenu, miedzi, cynku, chromu).

Układ oddechowy człowieka można podzielić na kilka obszarów czynnościowych, które istotnie różnią się między sobą pod względem czasu zatrzymania pyłu w miejscach osadzenia, szybkością i drogami jego eliminacji, a także reakcją patologiczną na pył. Najważniejsze z nich to (Lebecki 2004):

- obszar górnych dróg oddechowych (nos, jama ustna, gardło, krtań),
- obszar tchawiczo-oskrzelowy (tchawica, oskrzela, oskrzeliki),
- obszar wymiany gazowej (pęcherzyki płucne). Zaleganie pyłu w każdym z tych obszarów jest uzależnione od wymiaru jego cząstek, budowy dróg oddechowych i samego procesu oddychania.

Ze względu na skutki zdrowotne najgroźniejsze są cząstki frakcji respirabilnej, umożliwiające ich przeniknięcie do obszaru wymiany gazowej i w konsekwencji do możliwości rozwoju pylicy płuc, większości nowotworów oraz zapalenia pęcherzyków płucnych. Rodzaj choroby wywołanej oddziaływaniem pyłu na układ oddechowy zależy od rodzaju wdychanego pyłu. Narażenie na cząstki pyłów zawierających wolną krystaliczną krzemionkę może być przyczyną krzemicy. Wdychanie pyłów włóknistych może prowadzić do pylicy płuc i nowotworów. Narażenie na cząstki pyłów drewna twardego (buk, dąb) może być powodem nowotworów nosa i zatok przynosowych (Lebecki 2004).

Pylica płuc jest chorobą związaną z narażeniem na pyły o działaniu zwłókniającym i zawsze jest chorobą zawinioną przez warunki pracy. Jest chorobą nieuleczalną i może postępować nawet pomimo ustania kontaktu z czynnikiem ją wywołującym – pyłem. Ryzyko zachorowania na tę chorobę jest ściśle związane z zapyleniem powietrza w środowisku pracy, które przekracza wartości dopuszczalne. Za stan zapylenia na stanowiskach pracy odpowiada w całości pracodawca, który musi stworzyć jak najkorzystniejsze warunki do pracy podległych mu załóg górniczych. Pylica płuc powoduje istotne skutki zdrowotne oraz generuje koszty związane z profilaktyką i leczeniem pracowników chorych, bądź zagrożonych pylicą płuc. Celem nadrzędnym kierownictwa kopalni powinno być dołożenie wszelkich starań, aby ograniczyć do minimum ryzyko zachorowania oraz poprawić komfort pracy załóg górniczych (Lebecki 2004, Marek, Kłopotowski 2018).

3. Opis rejonu analizowanej ściany oraz pobór próbek pyłu szkodliwego dla zdrowia

Ściana „Y” w pokładzie „Z” prowadzona jest w kierunku z zachodu na wschód, systemem podłużnym z zawałem stropu na wysokość do 3,0 m. Rozciągłość warstw w rejonie posiada kierunek południowo-zachodni - północno-wschodni a upad warstw oscyluje w granicach 2°-16°. Pokład w parceli ściany zalega od -468,0 m n.p.m. do -509 m n.p.m.

Długość ściany „Y” wynosi od 158 do 165 m. Nachylenie podłużne waha się od 5° do 14°, a nachylenie poprzeczne w granicach od 0° do 7°. Ściana „Y” w pokładzie „Z” przewietrzana jest sposobem na «U» wznoszącym prądem powietrza. Chodniki przyścianowe likwidowane są poprzez rabunek i zawał skał stropowych za linią zawału ściany do 6 m. W razie konieczności linię likwidacji wyrobisk uszczelnia się piankami stosowanymi w górnictwie.

W rejonie ściany zatrudnionych jest około 86 osób, z czego 41 to *średnia liczba osób naocznie narażonych na oddziaływanie czynników szkodliwych* (w tym pyłów). Średnia wartość zachorowań na pylice dla oddziaływanie w okresie 5-letnim wynosi 0,2 na 100 zatrudnionych.

Pobieranie próbek na stanowiskach pracy przeprowadzono w oparciu o Polskie Normy: PN-Z-04008-7:2002 «Ochrona czystości powietrza - Pobieranie próbek - Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników» oraz PN-G-04035:2002+Az1:2005 «Ochrona czystości powietrza w podziemnych zakładach górniczych. Pomiar stężeń zapylenia powietrza oraz oznaczenie zawartości wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe» (PN-Z- ... 2002, PN-G- ... 2005).

Do pobrania próbek pyłu użyto metody dozymetrii indywidualnej stosując pompki indywidualne, które umożliwiają pobór próbek powietrza w strefie oddychania pracownika. Do pomiarów stężeń pyłów na stanowisku pracy kombajnisty ścianowego zastosowane zostały aspiratory indywidualne typu 224-43EX firmy SKC, które za każdym razem przed i po pomiarze podlegają sprawdzeniu rotametrem ROS-06 oraz pyłomierze grawimetryczne CIP-10 firmy ARELCO, które sprawdzane są okresowo rotametrem typu ROS-10.

4. Procedura oceny ryzyka zdrowotnego związanego ze szkodliwym oddziaływaniem pyłu węglowego na człowieka

Na stanowiskach pracy należy przeprowadzać proces oceny ryzyka zdrowotnego, który składa się z następujących etapów (Krause 2008):

- sprawdzenie, jakie zagrożenia występują na stanowisku pracy i dokonanie ich oceny pod względem wpływu na organizm człowieka,
- identyfikacja narażeń oraz charakterystyka wpływu na człowieka, z której wynika, że działanie pyłów na organizm ludzki może być przyczyną mechanicznego uszkodzenia błon śluzowych lub skóry, a także niebezpiecznych wśród górników chorób płuc (pylica i krzemica), które zaliczane są do chorób zawodowych,
- dokonanie pomiarów stężeń czynników szkodliwych w obszarze wykonywanej pracy,
- szacowanie ryzyka narażenia i występujące straty,
- podjęcie działań profilaktycznych minimalizujących ryzyko wystąpienia strat lub eliminujących narażenie oraz zapewnienie niezbędnych nakładów na realizację działań.

Dokonanie pomiarów stężeń pyłów szkodliwych dla zdrowia polega na pobraniu prób powietrza na stanowisku pracy oraz analizie substancji szkodliwych jak stężenie pyłu

w powietrzu i zawartości krzemionki (SiO_2) w pyłe. Stężenie pyłu określa się na podstawie dwóch wzorów, rozdzielając na:

– frakcja respirabilna

$$C_r = \frac{m_r}{V} \quad \left[\frac{mg}{m^3} \right] \quad (4.1)$$

– frakcja wdychalna

$$C_c = \frac{m_c}{V} \quad \left[\frac{mg}{m^3} \right] \quad (4.2)$$

gdzie:

C_r – stężenie frakcji respirabilnej $\left[\frac{mg}{m^3} \right]$,

C_c – stężenie frakcji wdychalnej $\left[\frac{mg}{m^3} \right]$,

m_r – masa pyłu frakcji respirabilnej [mg],

m_c – masa frakcji wdychalnej [mg],

V – objętość zassanej próbki powietrza [m^3].

Zawartość wolnej krzemionki w pyłe określa się na podstawie badań laboratoryjnych i wyraża w procentach [%].

Najwyższe Dopuszczalne Stężenie (NDS) pyłowych czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy określa 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 ([Rozporządzenie ... 2018](#)).

W celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy, ograniczenia zachorowalności i wypadków w pracy, niezbędna jest prawidłowa ocena ryzyka zawodowego na danym stanowisku pracy. Wyróżnia się dwa podstawowe przejawy ryzyka zawodowego: ryzyko zagrożeniowe, tj. straty ludzkie i materialne spowodowane niebezpiecznymi warunkami pracy oraz ryzyko zdrowotne, czyli ewentualne skutki powstałe w wyniku oddziaływania czynników szkodliwych ([Krause 2008](#)).

Procedura szacowania ryzyka zdrowotnego polega na ([Krause 2008](#)):

- ocenie zgodności NDS z warunkami pracy,
- przyjęciu kryterium oceny ryzyka,
- wyznaczeniu wskaźnika ryzyka,
- interpretacji wskaźnika ryzyka.

Procedura ta różni się od innych tym, że ocena nie kończy się na wykazaniu przekroczenia norm, ale uwzględnia parametry takie jak: wskaźnik wystąpienia ryzyka zagrożenia, wskaźnik ryzyka ekspozycji zagrożenia, wskaźnik ryzyka liczby zagrożonych osób oraz wskaźnik ryzyka strat powstałych w wyniku zagrożenia. Dzięki temu można przewidzieć prawdopodobne skutki narażenia na danym stanowisku pracy oraz dobrać odpowiednią profilaktykę.

4.1. Ocena zgodności NDS z warunkami pracy:

Obliczamy na podstawie wzorów dla pobranych prób, dla: – średniego stężenia frakcji wdychalnej

$$C_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ic} * t_{ic}}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (4.3)$$

– średniego stężenia frakcji respirabilnej

$$C_r = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ir} * t_{ir}}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (4.4)$$

gdzie:

C_c – średnie stężenie frakcji wdychalnej na stanowisku pracy $\left[\frac{mg}{m^3} \right]$,

C_r – średnie stężenie frakcji respirabilnej na stanowisku pracy $\left[\frac{mg}{m^3} \right]$,

$C_{ic/r}$ – stężenie frakcji wdychalnej lub respirabilnej w danej próbie,

t_i – czas pobierania próbek [s],

n – liczba pobranych próbek.

– średniego stężenia pyłu podczas całej zmiany roboczej

$$C_{Wc/r} = \frac{C_{c/r} * \sum_{i=1}^n t_i}{t_z} \quad (4.5)$$

gdzie:

$C_{Wc/r}$ – średnie stężenie frakcji wdychalnej lub respirabilnej na stanowisku pracy podczas całej zmiany roboczej, która została obliczona na podstawie pomiarów indywidualnych $\left[\frac{mg}{m^3} \right]$,

t_z – czas zmiany roboczej [480min].

4.2. Przyjęcie kryterium oceny ryzyka

Dla przyjęcia kryterium przeprowadza się ocenę:

– możliwości wystąpienia zagrożenia

$$W_{Pc/r} = \frac{C_{Wc/r}}{NDS} \quad (4.6)$$

gdzie:

$W_{Pc/r}$ – wskaźnik ryzyka przekroczenia NDS,

Zawsze do dalszych obliczeń bierze się pod uwagę większą wartość wskaźnika ryzyka przekroczenia NDS korzystając z tabeli 1:

Tabela 1. Wskaźnik wystąpienia ryzyka zagrożenia (P)

Table 1. Hazard risk occurrence rate (P)

Ocena możliwości wystąpienia zagrożenia	Zakres	Wskaźnik wystąpienia ryzyka zagrożenia (p)
Pewne	$W_{Pc/r} > 6$	10
Bardzo prawdopodobne	$3 < W_{Pc/r} \leq 6$	6
Prawdopodobne	$1 < W_{Pc/r} \leq 3$	3
Możliwe	$0,5 < W_{Pc/r} \leq 1$	1
Małe	$0,2 < W_{Pc/r} \leq 0,5$	0,5
Praktycznie niemożliwe	$W_{Pc/r} \leq 0,2$	0,2

– ekspozycji na zagrożenie

$$W_E = W_{Pc/r} \frac{L_g}{L_{gr}} \quad (4.7)$$

gdzie:

W_E – wskaźnik ryzyka wchłonięcia szkodliwej dawki pyłu przez pracownika na stanowisku pracy,

L_g – średnia liczba przepracowanych godzin w narażeniu przez osobę pracującą w oddziale wciągu roku,

L_{gr} – liczba godzin dla tygodniowego rejestru pracy wciągu roku.

Tabela 2. Wskaźnik ryzyka ekspozycji zagrożenia (E)

Table 2. Hazard exposure risk index (E)

Ekspozycja	Zakres	Wskaźnik ryzyka ekspozycji zagrożenia (e)
Stała	Przez całą zmianę każdego dnia pracy $W_E \geq 1$	10
Częsta	Raz lub więcej razy / dobę $0,6 \leq W_E < 1$	6

Sporadyczna	Raz lub więcej razy / tydzień $0,4 \leq W_E < 0,6$	4
Okazjonalna	Raz lub więcej razy / miesiąc $0,2 \leq W_E < 0,4$	2
Minimalna	Kilka razy w roku $0,1 \leq W_E < 0,2$	1
Znikoma	Raz do roku $W_E < 0,1$	0,5

– liczby osób podatnych na zagrożenie

$$W_L = \frac{L_N}{L_{AZ}} \quad (4.8)$$

gdzie:

- W_L – wskaźnik ryzyka narażenia określonej liczby osób w oddziale,
- L_N – średnia liczba osób naocznie narażonych na oddziaływanie czynników szkodliwych w oddziale,
- L_{AZ} – liczba zatrudnionych pracowników w oddziale.

Tabela 3. Wskaźnik ryzyka liczby zagrożonych osób (L)

Table 3. Risk index of number of people at risk (L)

Procentowa liczba osób naocznie narażonych [%]	Zakres	Wskaźnik ryzyka liczby zagrożonych osób (L)
81 ÷ 100	$0,8 < W_L \leq 1,00$	10
60 ÷ 80	$0,6 < W_L \leq 0,8$	8
41 ÷ 60	$0,4 < W_L \leq 0,6$	6
21 ÷ 40	$0,2 < W_L \leq 0,4$	4
11 ÷ 20	$0,1 < W_L \leq 0,2$	2
1 ÷ 10	$W_L \leq 0,1$	1

– potencjalnych skutków zagrożenia

$$W_S = W_Z * L_N = \frac{L_{CH}}{L_{ZAT}} * L_N \quad (4.9)$$

gdzie:

- W_S – wskaźnik ryzyka wystąpienia strat w oddziale,
- W_Z – zachorowalność pracowników w oddziale,
- L_{CH} – średnia wartość zachorowań na pylice w danym oddziale w okresie 5-letnim,
- L_{ZAT} – średnia liczba zatrudnionych osób w danym oddziale w okresie 5-letnim.

Tabela 4. Wskaźnik ryzyka strat powstałych w wyniku zagrożenia (S)

Table 4. Hazard loss risk index (S)

Strata	Zakres	Wskaźnik ryzyka strat (S)
Katastrofalna	Pełna niezdolność do pracy wielu pracowników lub śmierć przynajmniej jednego pracownika $W_S \geq 1$	10
Krytyczna	Pełna niezdolność do pracy $0,6 \leq W_S < 1$	6
Ciężka	Zmiana stanowiska pracy podyktowana poważnymi zmianami chorobowymi $0,3 \leq W_S < 0,6$	3
Duża	Długotrwała choroba $0,1 \leq W_S < 0,3$	1
Niewielka	Krótkotrwała choroba $0,05 \leq W_S < 0,1$	0,5
Pomijana	Niewielkie dolegliwości $W_S < 0,05$	0,1

4.3. Wyznaczenie wskaźnika ryzyka

Wskaźnik ryzyka zdrowotnego związanego z zapyleniem powietrza ustala się przez iloczyn składowych kryterium oceny ryzyka:

$$W_{RZ} = P \cdot E \cdot L \cdot S \quad (4.10)$$

gdzie:

- W_{RZ} – wskaźnik ryzyka zdrowotnego,
- P – wskaźnik ryzyka wystąpienia zagrożenia,
- E – wskaźnik ryzyka ekspozycji zagrożenia,
- L – wskaźnik ryzyka liczby osób zagrożonych,
- S – wskaźnik ryzyka strat powstałych w wyniku zagrożenia.

4.4. Interpretacja wskaźnika ryzyka

Po obliczeniu wskaźnika ryzyka zdrowotnego pracodawca zalicza dane stanowisko pracy do jednej ze stref ryzyka. Strefy ryzyka przedstawia tabela 5.

5. Ocena ryzyka zdrowotnego związanego z zapyleniem na stanowisku kombajnisty ścianowego

Pomiary zanieczyszczenia powietrza pyłem kopalnianym wykonano w Kopalni Węgla Kamiennego "X", na ścianie „Y” w pokładzie „Z”. W danym rejonie wydobywczym pracuje oddział G-3-B. Załoga oddziału pracuje w czterozmianowym trybie pracy:

- zmiana „A” – od godz. 6.30 do 14.00,
- zmiana „B” – od godz. 12.30 do 20.00,
- zmiana „C” – od godz. 18.30 do 2.00,
- zmiana „D” – od godz. 0.30 do 8.00.

Próby pobierane były na zmianie porannej (zmiana „A”). Harmonogram pracy na stanowisku kombajnisty przedstawia tabela 6:

Dla każdej pozycji czynności, wykonywanych w czasie zmiany pracującej, pobrano jedną próbkę powietrza w strefie oddychania pracownika (Materiały ... 2018). Wyniki przedstawia tabela 7.

Załoga oddziału podczas czynności takich jak zjazd i wyjazd z poziomu jest w znikomym stopniu narażona na oddziaływanie szkodliwych pyłów w powietrzu, dlatego obliczeń przyjęto, że $C_i = 0$.

Tabela 5. Wartości wskaźnika ryzyka i rodzaje stref ryzyka
Table 5. Risk index values and risk zone types

Wartość wskaźnika [W_{RZ}]	Kategoria ryzyka	Strefa ryzyka i zalecenia decyzyjne
Poniżej 50	Minimalne	Strefa bezpieczna. Strefa ta obejmuje te stanowiska pracy, które charakteryzują się najmniejszym ryzykiem zdrowotnym pracownika. W tym przypadku profilaktyka nie jest stosowana, a pomiary czynników szkodliwych dla zdrowia przeprowadza się raz w ciągu 24 miesięcy.
$50 \leq W_{RZ} < 300$	Akceptowalne	Strefa prawie bezpieczna. Strefa ta obejmuje stanowiska pracownicze, które cechują się ryzykiem akceptowalnym. Wprowadza się działania profilaktyczne w zakresie ochrony indywidualnej i skraca się czas wykonywania pomiarów do 12 miesięcy.
$300 \leq W_{RZ} < 900$	Istotne	Strefa niebezpieczna. W tej strefie ryzyko ma charakter istotny. Należy w przedziale czasowym od kwartału do pół roku zredukować poziom ryzyka do akceptowalnego. Należy zastosować profilaktykę która obniży poziom ryzyka (zastosowanie skutecznej ochrony indywidualnej jak i zbiorowej). Pomiary będą wykonywane raz na 6 miesięcy.
$900 \leq W_{RZ} < 1800$	Niepożądane	Strefa szczególnie niebezpieczna. Na stanowiskach pracy występuje ryzyko, które nie jest pożądane. W żadnym wypadku nie wolno rozpocząć pracy w takich warunkach. W przypadku jeżeli praca jest już wykonywana, należy w okresie do 3 miesięcy zredukować ryzyko. Pomiary czynników szkodliwych dla organizmu człowieka są wykonywane w systemem ciągłym.
Powyżej 1800	Nieakceptowalne	Strefa krytyczna. Ryzyko występujące na danym stanowisku pracy nie jest do zaakceptowania. Praca nie może być rozpoczęta, a w przypadku prac już wykonywanych natychmiast zatrzymana. Warunkiem wznowienia prac na stanowisku jest zredukowanie ryzyka.

Tabela 6. Harmonogram pracy na stanowisku kombajnisty
Table 6. Work schedule for a longwall shearer

Czas wykonywanej pracy	Wykonywana czynność
$6^{30} \div 7^{00}$	Zjazd szybem załogi na poziom 840 m
$7^{00} \div 8^{00}$	Przejazd pociągiem osobowym + dojsie na stanowiska pracy + rozpoczęcie wydobycia
$8^{00} \div 11^{00}$	Prace związane z obsługą kombajnu ścianowego KSW-880EU + przerwy technologiczne
$11^{00} \div 13^{15}$	Prace związane z obsługą kombajnu ścianowego KSW-880EU
$13^{15} \div 14^{00}$	Wyjście załogi z rejonu + przejazd pociągiem osobowym
$14^{00} \div 14^{30}$	Wyjazd szybem załogi na powierzchnie

Tabela 7. Wyniki pomiarów na stanowisku kombajnisty ścianowego
Table 7. Measurement results at the longwall shearer station

Czynność	Stężenie [$\frac{mg}{m^3}$]		Czas poboru $t, [min]$
	Frakcji respirabilnej C_r	Frakcji wdychalnej C_c	
Przejazd pociągiem osobowym + dojsie na stanowiska pracy + rozpoczęcie wydobycia	10,2	28,6	60
Prace związane z obsługą kombajnu ścianowego KSW-880EU + przerwy technologiczne	16,3	50,7	180
Prace związane z obsługą kombajnu ścianowego KSW-880EU	19,1	55,3	135
Wyjście załogi z rejonu + przejazd pociągiem osobowym	11,2	29,0	45

Obliczenia dla średniego stężenia frakcji wdychalnej na stanowisku pracy:

$$C_c = \frac{0 * 30 + 28,6 * 60 + 50,7 * 180 + 55,3 * 135 + 29 * 45 + 0 * 30}{420} \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

$$C_c = 46,69 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

Obliczenia dla średniego stężenia frakcji respirabilnej na stanowisku pracy:

$$C_r = \frac{0 * 30 + 10,2 * 60 + 16,3 * 180 + 19,1 * 135 + 11,2 * 45 + 0 * 30}{420} \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

$$C_r = 15,78 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

Obliczenia dla średniego stężenia frakcji respirabilnej i wdychalnej podczas całej zmiany roboczej:

$$C_{w_c} = \frac{0 * 30 + 28,6 * 60 + 50,7 * 180 + 55,3 * 135 + 29 * 45 + 0 * 30}{480} \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

$$C_{w_c} = 40,85 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

$$C_{w_r} = \frac{0 * 30 + 10,2 * 60 + 16,3 * 180 + 19,1 * 135 + 11,2 * 45 + 0 * 30}{480} \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

$$C_{w_r} = 13,81 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

Według NDS czas zmiany roboczej (t_z) to 8 godzin czyli 480 minut.

W badaniu stwierdzona zawartość krzemionki krystalicznej wyniosła $0,408 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$. NDS krzemionki frakcji respirabilnej to $0,1 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$.

Szkodliwe działanie kwarcu i krystobalitu na organizm człowieka jest przede wszystkim związane z długotrwałym – ponad 10-letnim – wdychaniem pyłu, który może przedostawać się do obszaru wymiany gazowej w płucach i tam działać toksycznie na: makrofagi, pneumocyty i inne komórki, wywołując przewlekłą reakcję zapalną, a następnie zmiany zwłóknieniowe o charakterze ogniskowym (guzkowym) lub rozproszonym. Skutkiem takich procesów jest rozwój krzemowej pylicy płuc, a w wielu przypadkach także raka płuca. Innymi skutkami zdrowotnymi narażenia są: choroby autoimmunizacyjne, przewlekłe choroby nerek, bakteryjne i grzybicze powikłania krzemicy oraz krzemica ogólnoustrojowa. W badaniach epidemiologicznych osób narażonych na krystaliczną krzemionkę wykazano, że ryzyko rozwoju krzemicy jest proporcjonalne do dawki pyłu i po 40 ÷ 45 latach narażenia wynosi: 2 ÷ 3%, w przypadku stężenia na poziomie $0,025 \text{ mg/m}^3$ oraz od kilku do kilkunastu procent, gdy stężenie wynosi $0,05 \text{ mg/m}^3$ i od kilku do około 70 procent w przypadku stężenia $0,1 \text{ mg/m}^3$ (Maciejewska 2014).

Dla przyjęcia kryterium oceny wykonujemy:

- Obliczenia możliwości wystąpienia zagrożenia:
 - frakcji respirabilnej (NDS = 2)

$$W_{P_r} = \frac{13,81}{2}$$

$$W_{P_r} = 6,91$$

Według wskaźnika ryzyka występowania zagrożenia (tabela 1) zakres możliwości wystąpienia zagrożenia mieści się w przedziale $W_{P_{cr}} > 6$, dlatego przyjmujemy wartość $P_r = 10$.

- frakcji wdychalnej (NDS = 10)

$$W_{P_c} = \frac{40,85}{10}$$

$$W_{P_c} = 4,09$$

Według wskaźnika ryzyka występowania zagrożenia (tabela 1) zakres możliwości wystąpienia zagrożenia mieści się w przedziale $3 < W_{P_{cr}} \leq 6$, dlatego przyjmujemy wartość $P_c = 6$

Przy obliczaniu wskaźnika ryzyka zdrowotnego bierzemy pod uwagę najwyższą wartość $W_{P_{cr}}$.

- Obliczenia ekspozycji na zagrożenia:

$$W_E = 6,91 * \frac{1980}{2184}$$

$$W_E = 6,26$$

Według wskaźnika ryzyka ekspozycji zagrożenia (tabela 2) otrzymana wartość mieści się w zakresie $W_E \geq 1$ dlatego przyjmujemy wskaźnik $E = 10$.

- Obliczenia liczby pracowników podatnych na zagrożenie:

$$W_L = \frac{41}{86}$$

$$W_L = 0,48$$

Wskaźnik ryzyka liczby zagrożonych osób (tabela 3) mieści się w zakresie $0,4 < W_L \leq 0,6$, dlatego przyjmujemy wskaźnik $L = 6$

- Obliczenia potencjalnych skutków zagrożenia:

$$W_S = \frac{0,2}{100} * 41$$

$$W_S = 0,08$$

Wskaźnik ryzyka strat powstałych w wyniku zagrożenia (tabela 4) mieści się w zakresie $0,05 \leq W_S < 0,1$, przyjmujemy zatem wskaźnik $S = 0,5$.

Mając powyższe dane cząstkowe wyznaczamy wskaźnik ryzyka zdrowotnego związanego z zapyleniem na stanowisku kombajnisty ścianowego w ścianie „Y” pokład „Z” poprzez obliczenia:

$$W_{RZ} = 10 * 10 * 6 * 0,5$$

Na podstawie pomiarów, obliczeń stężeń i dokonanego wyznaczenia wskaźnika ryzyka zdrowotnego na stanowisku kombajnisty ścianowego w ścianie „Y” w pokładzie „Z” wartość wyznaczonego wskaźnika ryzyka wyniosła $W_{RZ} = 300$. Wartość ta określa nam:

- kategorię ryzyka - ryzyko zdrowotne kombajnisty w ścianie „Y” zaliczane jest do kategorii „istotne”,
- strefę ryzyka - niebezpieczna,
- zalecenia decyzyjne - zaleca się obniżenie ryzyka do poziomu akceptowalnego w okresie od 3 do 6 miesięcy. Biorąc pod uwagę aspekt ekonomiczny, należy zastosować skuteczne środki profilaktyczne lub ochronne, które w krótkim okresie czasowym zmniejszą poziom ryzyka. Pomiarów czynników przeprowadza się raz na pół roku. Zdecydowanie stanowisko kombajnisty ścianowego jest

obarczone wysokim ryzykiem zdrowotnym. Każdy pracownik na tym stanowisku powinien być świadomy podejmowanego ryzyka, mieć wyobrażenie o skutkach chorobowych i we własnym interesie dbać o ochronę zbiorową, jak i indywidualną w czasie pracy. Kombajnista w szczególności powinien zadbać o prawidłowe działanie zraszaczy na organie urabiającym, za których przegląd przed każdą rozpoczętą zmianą jest odpowiedzialny.

6. Profilaktyka w celu ochrony przed zagrożeniem pyłowym

Zapylenie powietrza w kopalniach stwarza dwa niebezpieczeństwa. Pierwsze to zagrożenie wybuchem pyłu węglowego, a drugie to zagrożenie dla zdrowia pracownika.

Pierwszym krokiem profilaktyki stosowanej w ochronie zdrowia pracowników jest podjęcie środków organizacyjnych i technicznych:

- wykonanie pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia na stanowiskach pracy przez akredytowane laboratoria,
- rejestracja danych pracowników pracujących w środowisku zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia, którzy zobligowani są do używania środków ochrony indywidualnej,
- sporządzanie zestawień (miesięcznych i rocznych) stężeń pyłów i dni przepracowanych dla każdego pracownika na stanowiskach, gdzie przekraczane jest NDS,
- dobór środków ochrony indywidualnej w oparciu o wyniki pomiarów akredytowanych jednostek badawczych,
- szkolenia i informowanie pracowników o wartościach stężeń pyłu na stanowisku pracy,
- egzekwowanie od pracowników stosowania środków ochrony zbiorowej i indywidualnej o odpowiedniej klasie ochrony,
- rotacja pracowników na stanowiskach pracy.

Drugi krok profilaktyki na rzecz ochrony zdrowia to środki ochrony zbiorowej:

- stosowanie urządzeń zraszających na maszynach urabiających (kombajny ścianowe i chodnikowe), a w mediach zastosowanie środków chemicznych obniżających napięcie powierzchniowe wody,
- stosowanie urządzeń zraszających w miejscach przesyłu urobku na trasach przenośników taśmowych i zgrzeblowych,
- stosowanie odpylaczy przy wentylacji odrębnej,
- płukanie otworów podczas prac wiertniczych,
- zmywanie wyrobisk wodą, gdzie prowadzone są roboty strzałowe.

Jako trzeci krok zwalczania zagrożenia stosuje się środki ochrony indywidualnej. Pracownicy zatrudnieni na stanowiskach pracy, gdzie mimo podjęcia pierwszych dwóch kroków profilaktyki występują przekroczenia NDS zapylenia, są zobligowani do stosowania półmasek filtrujących o właściwej klasie ochrony układu oddechowego zakwalifikowanych na danym stanowisku pracy. Dobór środków ochrony indywidualnej dokonywany jest na podstawie pomiarów stężeń pyłów szkodliwych dla zdrowia człowieka. Pracownicy w kopalni są zobligowani do bezwzględnie stosowania indywidualnego sprzętu filtrującego o odpowiedniej klasie ochronnej w czasie zmiany roboczej od momentu wejścia: w rejon eksploatacyjny, do wyrobisk gdzie prowadzony jest transport urobku i w wyrobiskach z zużytym prądem powietrza.

7. Podsumowanie oraz wnioski

Według opublikowanych danych WUG stwierdzono, że w ostatnich 5 latach w górnictwie pylica płuc była najczęściej stwierdzaną chorobą zawodową. Z przeprowadzonych badań wynika, że prawie 87% stwierdzonych chorób zawodowych to udział pylicy płuc. Analizując lata poprzednie zachorowalności na pylicę płuc wśród górników, można zauważyć znaczący spadek ilości chorób wśród górników węgla kamiennego. Taki stan rzeczy bierze się z coraz większej świadomości zagrożenia jakim jest zapylenie w miejscu pracy i konsekwencjami, jakie mogą wynikać w kolejnych latach życia. Zmienia się świadomość ludzi, styl życia, co ma duży wpływ na zdrowie. Również stosowanie się do zaleceń BHP, w perspektywie wieloletniej, może uratować niejednemu górnikowi życie. Dlatego tak ważne jest stosowanie środków ochrony zdrowia - zbiorowych i indywidualnych (Stan ... 2020).

Pylica płuc to przewlekła choroba. Pojawia się późno, po wielu latach pracy (nawet 10 - 20), rozwija się stopniowo i nieodwracalnie. Spowodowana jest wdychaniem pyłu węglowego z domieszką dwutlenku krzemu. Objawy towarzyszące chorobie to niewydolność oddechowa, krążenia, nadciśnienie, duszności, kaszel, rozedma i przewlekłe zapalenia oskrzeli (Marek, Kłopotowski 2002).

Podstawowym obowiązkiem pracodawcy jest dokonanie oceny ryzyka zawodowego, której podstawą jest zidentyfikowanie wszystkich zagrożeń występujących na stanowisku pracy. Jeżeli na stanowisku pracy występują pyły to należy: ustalić rodzaj występującego pyłu, sprawdzić czy dla zidentyfikowanego pyłu ustalona jest wartość NDS, zlecić właściwemu laboratorium przeprowadzenie pomiarów stężeń pyłu, ustalić poziom narażenia pracowników, ocenić ryzyko zawodowe i podjąć działanie w celu jego ograniczenia. Pracodawca powinien poprzez dokonywanie oceny ryzyka i wprowadzenie środków prewencyjnych ograniczać narażenie pracowników do możliwie najniższego. Ograniczać ryzyko można poprzez działania techniczne i organizacyjne.

W pracy przeprowadzona została analiza i obliczenia oceny ryzyka zdrowotnego związanego z zapyleniem na stanowisku kombajnisty ścianowego. Na podstawie pomiarów stężeń, obliczeń i dokonanego wyznaczenia wskaźnika ryzyka zdrowotnego dla stanowiska kombajnisty w ścianie wynika, iż owe ryzyko zaliczone jest do strefy niebezpiecznej i charakteryzuje się jako istotne. W związku z tym należy podjąć działania profilaktyczne, aby zminimalizować ryzyko co najmniej do strefy akceptowalnej.

W ścianie „Y” w pokładzie „Z” zastosowano następującą profilaktykę w celu obniżenia zapylenia, zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i działania pyłów szkodliwych dla zdrowia człowieka:

- środki ochrony zbiorowej, takie jak: zastosowanie zraszania na maszynach urabiających, przesypach, wysypach wraz ze środkami chemicznymi zmniejszającymi napięcie powierzchniowe wody, harmonogram kontroli sprawności urządzeń pozbawiających pył lotności, wdrożenie technologii pracy minimalizującej gromadzenie się pyłu, szkolenia bhp uświadamiające ryzyko wystąpienia zagrożenia,
- środki ochrony indywidualnej, w tym: stosowanie półmasek jednokrotnego i wielokrotnego użytku, indywidualne szkolenia bhp na stanowisku pracy.

Literatura

- GROMIEC J. 2004 - Pomiar i ocena stężeń czynników chemicznych i pyłów w środowisku pracy – wytyczne i zalecenia. Wyd. CIOP-PIB, Warszawa
 KRAUSE M. 2008 - Ocena ryzyka zawodowego – wymagania, wytycz-

- ne, przykłady. Organizacja i Bezpieczeństwo Pracy. Wyd. Wyższa Inżynierska Szkoła Bezpieczeństwa i Organizacji Pracy. Radom.
- LEBECKI K. 2004 - Zagrożenia pyłowe w górnictwie. Wyd. GIG, Katowice.
- MACIEJEWSKA A. 2014 - Krzemionka krystaliczna: kwarc i krystobalit – frakcja respirabilna Dokumentacja proponowanych dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, nr 4(82), s. 67–128.
- MAREK K., KŁOPOTOWSKI J. 2002 - Pylica płuc u górników węgla kamiennego i jej profilaktyka. Materiały konferencyjne: Problemy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w polskim górnictwie. Katowice, 4-5 kwiecień.
- Materiały** odnośnie badanych prób powietrza udostępnione przez kopalnię 2018.
- PN-G-04035:2002+Az1:2005** „Ochrona czystości powietrza w podziemnych zakładach górniczych. Pomiar stężeń zapylenia powietrza oraz oznaczenie zawartości wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe”.
- PN-Z-04008-7:2002** „Ochrona czystości powietrza - Pobieranie próbek Zasady pobierania próbek powietrza w środowisku pracy i interpretacji wyników”.
- 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.
- Rozporządzenie** Ministra Zdrowia z dnia 02.02.2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.
- Stan** bezpieczeństwa i higieny pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego w związku z działalnością górnictwo-geologiczną w 2019 roku. WUG, Katowice, 2020 r.
- Artykuł wpłynął do redakcji – styczeń 2021
Artykuł akceptowano do druku – 15.03.2021



Szanowni Państwo

Uprzejmie informujemy, że czasopismo „Przegląd Górniczy (ISSN: 0033-216X)” pozytywnie przeszło proces oceny i jest indeksowane w bazie **ICI Journals Master List za rok 2019**.

Na podstawie weryfikacji informacji z ankiety ewaluacyjnej oraz analizie wydań czasopisma z 2019 roku, wyznaczona została wartość wskaźnika *Index Copernicus Value* (ICV) za rok 2019.

ICV 2019 = 70.34

Wyznaczona ocena jest widoczna na liście czasopism **ICI Journals Master List 2019**

<https://journals.indexcopernicus.com/search/formjml> oraz w Paszporcie Państwa czasopisma

<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=28377&lang=pl>

Jednocześnie zapraszamy Państwa do skorzystania z dodatkowych możliwości wynikających z indeksacji czasopisma na liście **ICI Journals Master List 2019**.

Z poważaniem,

Zespół Ewaluacji Czasopism Naukowych

Index Copernicus International

www.indexcopernicus.com