

Received August 30, 2013; reviewed; accepted September 27, 2013

*Górnictwo kruszyw,  
bezpieczeństwo pracy i środowiska,  
ochrony przeciwpyłowe*

Mariola STEFANICKA\*

## **TECHNICZNE METODY OGRANICZANIA ZAPYLENIA W ZAKŁADACH KRUSZYW I OCENA ICH SKUTECZNOŚCI**

Artykuł dotyczy problematyki pyłu jako zjawiska szkodliwego i powszechnie występującego w górnictwie skalnym. Wskazano na trudności modelowania przestrzennego i określania emisji niezorganizowanej pyłu w procesach produkcji kruszyw. Omówiono techniczne metody redukcji zapylenia i możliwości ich stosowania w zakładach przerobczych. Zaprezentowane wyniki pomiarów stężeń pyłu w czasie rzeczywistym dla wybranych procesów technologicznych oraz dokonano oceny skuteczności stosowanych rozwiązań technicznych ograniczających zapylenie.

### **1. PYŁ W ŚRODOWISKU ZAKŁADÓW PRODUKCJI KRUSZYW**

**Pył jest integralnie związany z górnictwem kruszyw**, co wynika ze specyfiki technologii przerobczych polegających na dezintegracji surowca i przemieszczaniu rozdrobnionych produktów. W zakładach kruszyw najczęściej mamy odczynienia z emisją niezorganizowaną – bezpośrednio z procesów technologicznych oraz wtórną z powierzchni przemysłowych, a tylko w sytuacjach funkcjonowania urządzeń odpylających występuje emisja zorganizowana.

Mimo powszechności zjawiska powstawania pyłu w środowisku zakładów wydobywczo-produkcyjnych, stworzenie modelu przestrzennego emisji i imisji niezorganizowanej, dostosowanego do dynamiki procesów przeróbki kruszyw, stwarza wyjątkowe trudności. Sytuację taką usprawiedliwiają również uwarunkowania legislacyjne, ponieważ przepisy bezpośrednio nie obligują przedsiębiorców do monitorowania emisji nie-

---

\* Politechnika Wroclawska, Instytut Górnictwa, Na Grobli 15, 50-421 Wrocław, Poland

zorganizowanej. Wiedza na temat „pyłu” ma zdecydowanie charakter intuicyjny, poparty indywidualnymi doświadczeniami i wrażeniami optycznymi. Nie ulega wątpliwości, że wielkość i przebieg emisji pyłu z procesów przeróbki kruszyw zależy od czynników technologicznych: rodzaju surowca, realizowanych operacji, stopnia rozdrobnienia oraz wielkości strugi materiału. Druga grupa to uwarunkowania zewnętrzne – przede wszystkim warunki atmosferyczne i sytuacja terenowa. Ale jak sparametryzować te czynniki, dodatkowo uwzględniając dynamikę procesu produkcyjnego – jest to pytanie, istotne również z punktu widzenia projektowania technik redukcji zapylenia.

Ograniczanie zapylenia ma kapitalne znaczenie w aspektach bezpieczeństwa zdrowia i ochrony środowiska. Widoczną chmurę pyłu unoszącą się z urządzeń i operacji technologicznych, na ogół oceniamy z punktu widzenia stężenia całkowitego i nie zastanawiamy się jaki jest stopień dyspersji pyłu oraz skład mineralogiczny czy też chemiczny.

Natomiast szkodliwość dla zdrowia zanieczyszczeń pyłowych jest zróżnicowana i zależy przede wszystkim od rodzaju pyłu, wymiaru i kształtu ziarn, świeżości przełomu, stężenia i czasu oddziaływania oraz wrażliwości osobniczej. Prawne normatywy pyłowe (higieny pracy i środowiska ogólnego) odnoszą się do trzech podstawowych frakcji ziarnowych, które jednocześnie opowiadają trzem strefom przenikania i depozycji pyłu w odcinkach dróg oddechowych – górnych (pył całkowity TSP lub „wdychalny” IPM), tchawiczno-oskrzelowych (frakcje torakalne TPM, wymiarowy odpowiednik pyłu PM10), oraz wymiany gazowej (frakcje respirabilne RPM, w przybliżeniu odpowiednik pyłu PM4) (Więcek E. 2011). W aspektach analiz jakościowych pyłu, dla surowców kruszywowych istotna jest zawartość krystalicznej krzemionki oraz sporadycznie występujących włókien minerałów azbestowych. Zdecydowanie najbardziej szkodliwe dla organizmu są frakcje pyłu respirabilne zawierające krzemionkę, odpowiedzialną za powstawanie pylicy krzemianowej. Należy pamiętać, że biologiczna agresywność pyłu, jest większa w sytuacji występowania świeżych przełomów ziarnowych.

Warto w tym miejscu również nadmienić, że w niedługim czasie, planuje się wprowadzenie zmian w polskim prawodawstwie w zakresie oceny narażenia na pył w środowisku pracy. Dla branży kruszyw najistotniejszym będzie fakt, wprowadzenia nowego czynnika szkodliwego – krystalicznej krzemionki, ocenianej indywidualnie, a nie jak do tej pory traktowanej jako wyznacznik dla ustalania normatywu higienicznego zanieczyszczeń pyłowych. Nowe przepisy dotyczące ilościowej oceny respirabilnej krystalicznej krzemionki na każdym stanowisku pracy, mogą istotnie zmienić wyznaczany poziom ryzyka zawodowego w zróżnicowanym surowcowo górnictwie kruszyw (Stefanicka M. 2012).

Wymienione regulacje formalno-prawne w zakresie monitorowania środowiska, są bardzo istotne dla potrzeb projektowania i eksploatacji urządzeń ochronnych, szczególnie z uwagi na ich zróżnicowaną skuteczność w odniesieniu do poszczególnych frakcji wymiarowych pyłu.

## 2. TECHNICZNE METODY OGRANICZANIA ZAPYLENIA

Techniki ograniczania zapylenia w środowisku przemysłowym rozwijają się szczególnie szybko w ostatnim okresie, co wynika z ogólnego postępu technologicznego, ale również z rosnącego zainteresowania przedsiębiorców zagadnieniami bezpieczeństwa pracy i ochrony środowiska. Sytuacja ta jest wynikiem systematycznego podwyższania normatywów środowiskowych oraz konsekwentnego ich egzekwowania już na etapie uzyskiwania decyzji środowiskowych i pozwoleń inwestycyjnych. W zakładach produkcji kruszyw podstawowymi metodami ograniczania emisji pyłu są: hermetyzacja procesów, odpylenie oraz systemy zraszające.

**Hermetyzacja** źródeł powstawania pyłu w zakładach przeróbczych jest wyjątkowo trudna z uwagi na specyfikę technologii i warunki eksploatacji. W zależności od przyjętego modelu przestrzennego zakładu przeróbczego, zamknięciu może podlegać cała przestrzeń, lub też moduły produkcyjne, poprzez umieszczenie urządzeń przeróbczych w obiektach budowlanych o różnym stopniu izolacji (obiekty pełne z otworami technologicznymi, wiaty, zadaszenia itp.). Drugi sposób to hermetyzacja indywidualna, czyli stosowanie różnego rodzaju osłon i uszczelnień na urządzeniach technologicznych. Najczęściej są to: konstrukcje stalowe stałe lub segmentowe, plandeki, elastyczne osłony tkaninowe montowane na gumowych listwach montażowych (np. system Trellex firmy Metso), rury zsypne, czy też różnego typu rękawy załadunkowe. Izolacji powinny podlegać przede wszystkim wszystkie przestrzenie operacyjne: przesiewania i sortowania, kruszenia, przesypów międzyoperacyjnych oraz zrzutu produktów na stożki magazynowe lub skrzynie środków transportu. Na pewno stopień hermetyzacji ciągu przeróbczego jest bardzo istotnym czynnikiem rzutującym na wielkość emisji pyłu z instalacji przeróbczej i dla potrzeb ocena środowiskowych powinien być wymiennie określany. Hermetyzacja procesów stanowi sama w sobie element ochrony przeciwpyłowej oraz jest bezwzględnie wymagana w sytuacji zastosowania odpylania odciągowego.

**Odpylanie procesowe** kruszyw jest jednocześnie istotnym etapem uszlachetniania produktów poprawiającym ich jakość. W takich sytuacjach, dokumentacja instalacje odpylającej jest częścią projektu technologicznego, a skuteczność i efektywność odpylania jest oceniana w wymiarze poprawy produktywności, natomiast aspekty środowiskowe są niewątpliwie istotną wartością dodaną tych rozwiązań. W zakładach kruszyw na ogół stosowane jest odpylenie z filtrami pulsacyjnymi (różnych rozwiązań w zależności od producenta) oraz wspomagająco, przy dużych stężeniach pyłu, urządzenia cyklonowe. Odpylacze filtracyjne w porównaniu do odśrodkowych, charakteryzują się znaczną wyższą skutecznością oczyszczania pyłów drobnych i bardzo drobnych, szczególnie szkodliwych dla zdrowia. Co raz rzadziej stosowane są odpylacze wodne (inżektorowe), o stosunkowo niskiej skuteczności odpylania. Dodatkowym problemem odpylania „mokrego” jest powstawanie pulpy odpadowej, trudnej do składowania czy też wykorzystania. Z nowych technik odpylania, które pojawiły się na

rynku, warto zwrócić uwagę na urządzenia wykorzystujące zjawiska elektrostatyczne, specjalnie przygotowane dla zakładów kruszyw. Są to odpylacze o konstrukcji segmentowej, nakładane na przenośniki taśmowe, w wersji przygotowanej dla urządzeń stacjonarnych i mobilnych (odpylacze typu HX firmy SANDVIK). Czas ich montażu jest bardzo krótki (wynosi 2-3 dni) i co jest bardzo istotne - nie wymagają instalacji odciągowej.

**Zraszanie wodne** jest podstawową metodą ograniczania emisji niezorganizowanej w zakładach przerobczych oraz emisji wtórnej z dróg technologicznych, placów składowych, oraz ogólnie terenów przemysłowych. Efekt redukcji zapylenia w wyniku zraszania uzyskuje się poprzez: uławianie drobin pyłu z powietrza (penetracja przestrzeni zanieczyszczonej pyłem), blokowanie jego rozprzestrzeniania na kurtynach wodnych (działanie skoncentrowane) oraz poprzez zmniejszenie powstawania pyłu z uwagi na zwilżenie surowca (blokowanie unosu pyłu). Istotną wadą systemów zraszających są ograniczone możliwości ich stosowanie w okresach zimowych. Problem zamarzania instalacji wodnej, można częściowo wyeliminować poprzez przedmuchiwanie sprężonym powietrzem lub stosowanie podgrzewania temperaturowego. Należy jednak pamiętać, że zraszanie nie eliminuje pyłu z procesu produkcyjnego w sposób ostateczny, uławiany pył osiada na produktach przerobu oraz na otaczającej powierzchni.

Zraszanie, w odróżnieniu od odpylania, ma zasadniczo negatywny wpływ na przebieg operacji i procesu produkcji kruszyw, a właściwy dobór i eksploatacja instalacji zraszającej ma kapitalne znaczenie w aspektach jakości produktów końcowych. Wpływ wody i wilgotności nadawy dla poszczególnych urządzeń i etapów przeróbki jest bardzo zróżnicowany. Zdecydowanie bardziej wrażliwe na obecność wody są wyższe stopnie przerobu, a wyjątkowo problematyczne jest stosowanie zraszania w przestrzeniach sortowania i klasyfikacji kruszyw. Nadmierna wilgotność jest również niewskazana dla eksploatacji przenośników taśmowych, stąd ograniczone są możliwości „lania wody” w przestrzeniach zrzutu produktów po operacjach kruszenia czy przesiewania. Niewątpliwie, projektowanie instalacji zraszających dla zakładów przerobczych wymaga znajomości procesu przeróbki kruszyw i indywidualnego podejścia dla każdej instalacji przerobczej. Zadania tego typu mogą być zlecane specjalistycznym firmą usługowym, ale w praktyce najczęściej są realizowane systemem gospodarczym, przez własne służby techniczne zakładu. Stąd eksploatowane urządzenia i systemy zraszające w zakładach kruszyw są bardzo zróżnicowane pod względem poziomu ich zaawansowania technicznego, wykonawstwa i sposobu eksploatacji. Początkowo, instalacje zraszające w zakładach kruszyw były adaptacją systemów ogrodowych i rolniczych. Aktualnie na rynku powszechnie dostępne są specjalistyczne instalacje przemysłowe – wodne i powietrzno-wodne (dwuprzewodowe), a także przewoźne armatki wodne. Istotnym elementem każdego systemu nawadniającego jest sama głowica zraszająca. Produkowane są dysze o różnej konstrukcji i parametrach technicznych, dające odmienne efekty rozpraszania wody w zakresie – stopnia dysper-

sji kropel, kąta i formy zraszania. Dla przykładu, w instalacjach zraszających można wykorzystać dysze: o strumieniu płaskim, pełnym lub pustym stożku zraszania, a także głowice mgłowe, czy też wytwarzające mikro-mgłę (np. dyfuzory ceramiczne). Systemy mgłowe są szczególnie preferowane do zastosowaniu w zakładach przeróbki kruszyw, ale należy również pamiętać o ich wadach. Mogą okazać się mało skuteczne przy dużych stężeniach z udziałem pyłu „grubego”, a także być przyczyną powstawania niekorzystnych zjawisk lokalnej „szadzi pyłowej” i ograniczania widoczności – dla układów sterowania z wykorzystaniem sensorów fotokomórkowych, obklejania szyb pojazdów itp. Z uwagi na specyfikę procesu technologii przeróbki kruszyw, w systemach zraszających należy odpowiednio dobierać różnego rodzaju zraszacze, tak aby ograniczać negatywny wpływ wody na proces przeróbki i jednocześnie uzyskać dostateczną skuteczność redukcji zapylenia. Istotnym parametrem technicznym instalacji zraszającej jest nie tylko rozmieszczenie i rodzaj dysz, ale również kąt operacyjny rozpraszanej strugi, w zależności czy chcemy uzyskać efekt bariery czy też porywania cząsteczek pyłu. Właściwe projektowanie instalacji zraszającej w zakładach kruszyw jest coraz bardziej doceniane, również w aspektach odpowiedniego sterowania parametrami i modułami zraszania, uwarunkowanego dynamiką procesu przeróbki. „Lanie wody” – nie jest już wystarczającą metodą redukcji zapylenia, należy w sposób metodyczny zaplanować jak to zrobić.

Producenci kruszyw mają aktualnie duże możliwości wyboru środków technicznych ograniczających zapylenie i na ogół stosowane są jednocześnie różne techniki – należy jednak mieć wiedzę na temat skuteczności ich stosowania.

### 3. PRZYKŁADY TECHNIK REDUKCJI ZAPYLENIA I OCENA ICH SKUTECZNOŚCI

#### 3.1 METODYKA BADAWCZA

W ramach programu badawczego „Ocena skuteczności stosowanych rozwiązań technicznych ograniczających zapylenie w górnictwie skalnym” Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, dla wybranych zakładów produkcji kruszyw, wykonano sondażowe pomiary propagacji pyłu i redukcji zapylenia z wykorzystaniem miernika laserowego typu Dust Trak II (firmy TSI). Miernik ten rejestruje stężenie zapylenia w czasie rzeczywistym dla pyłu całkowitego w zakresie 0,001-155 mg/m<sup>3</sup> oraz przy zastosowaniu impaktorów selektywnych (PM1; PM2,5; PM4, PM10) wstępnie określa wielkość przechodzących cząstek. Przyrząd wyposażony jest w oprogramowanie do analiz graficznych i statystycznych, ponadto możliwe jest jednoczesne wykonywanie pomiarów kontrolnych i kalibrujących metodą grawimetryczną. Miernik posiada certyfikat kalibracji wg ISO 12103.

Koncepcję pomiarową dostosowano do specyfiki i dynamiki technologii produkcji kruszyw, odpowiednio dobierając czasy obserwacji pomiarowych i interwały rejestra-

cji stężeń. Pomiary wykonano dla pyłu całkowitego oraz frakcji bardzo drobnych z użyciem impaktora PM4, jako najbardziej zbliżonych do umownej frakcji respirabilnej. Wskaźnik redukcji pyłu wyznaczono, jako procentowy udział stężenia pyłu zredukowanego do stężenia pierwotnego (bez funkcjonowania ochron technicznych), z zastosowaniem wzoru:

$$S_{TSP/PM4} = [(P_{b; TSP/PM4} - P_{c; TSP/PM4}) : P_{b; TSP/PM4}] \times 100\% ,$$

gdzie:  $S_{TSP/lubPM4}$  – wskaźnik redukcji pyłu w [%], odpowiednio dla pyłu całkowitego (TSP) lub frakcji PM4

$P_{b; TSP/lub PM4}$  – średnie stężenie pyłu w okresie pomiarowym w [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] przy braku urządzeń ochronnych, odpowiednio dla pyłu TSP lub frakcji PM4

$P_{c; TSP/lub PM4}$  – średnie stężenie pyłu w okresie pomiarowym w [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] przy funkcjonowaniu urządzeń ochronnych, odpowiednio dla frakcji TSP lub frakcji PM4.

Wskaźniki redukcji pyłu wyznaczano dla charakterystycznych punktów kontrolnych badanych obiektów technologicznych, usytuowanych możliwie najbliżej źródeł emisji pyłu.

Pomiary prowadzono w warunkach ekstremalnej emisji pyłu – przy dużym nasłonecznieniu, małej wilgotności powietrza maksymalnie do 40%, w temperaturze powietrza powyżej 24°C, przy prędkości (i podmuchach) wiatru mało istotnych dla porywania cząstek pyłu (do 3km/h) oraz przy pełnym obciążeniu urządzeń technologicznych nadawą.

Wybór obiektów objętych programem badań, poprzedzony był analizą informacji ankietowych z kopalń surowców kruszywowych rejonu Dolnego Śląska.

Poniżej zaprezentowano najbardziej reprezentatywne przykłady wykorzystania technik redukcji zapylenia:

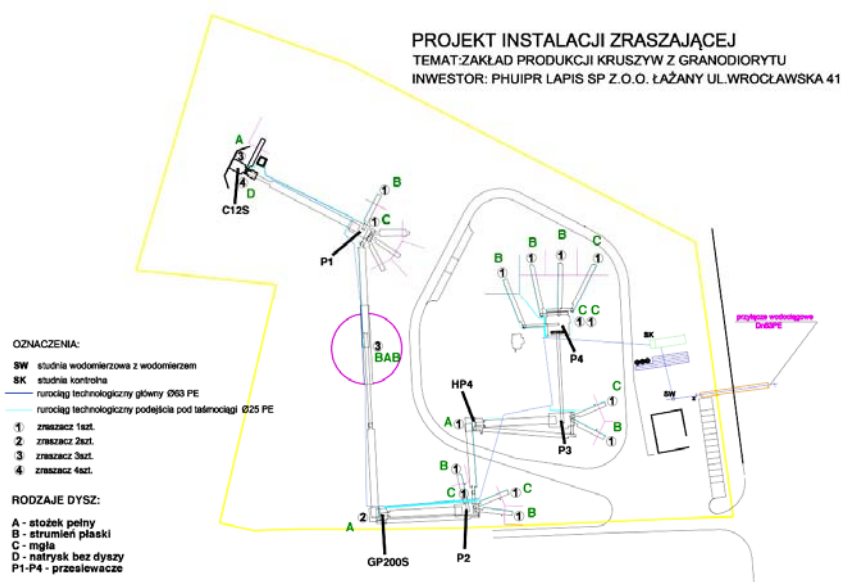
- system zraszania wodnego w zakładzie przeróbki kruszyw w Kopalni Granodiorytu Łażany,
- zraszanie dróg technologicznych, osłony przenośnikowe oraz załadunku kruszyw rękawem teleskopowym w Kopalni Granitu Wieśnica.

### 3.2. SYSTEM ZRASZANIA WODNEGO W ZAKŁADZIE KRUSZYW W KOPALNI ŁAŻANY

Produkcja kruszyw w Kopalni Granodiorytu Łażany prowadzona jest w stacjonarnym zakładzie przeróbczym na trzech stopniach przerobu. Linia technologiczna nie jest zabudowana, ale wszystkie przesiewacze zostały wyposażone w osłony plandekowe. Zakład produkuje mieszanki mineralne, frakcje klinkierowe i tłuczniowe oraz pełen asortyment grysów. Łączna zdolność produkcyjna linii technologicznej wynosi ca 350 Mg/h, a roczna produkcja to około 0,8 mln Mg kruszyw. Produkty gotowe składowane są na stożkach terenowych w przegrodach z prefabrykatów betonowych. Załadunek realizowany jest ładowarkami bezpośrednio na samochody odbiorców.

System zraszania wodnego obejmuje cały ciąg przeróbczy z wykorzystaniem 28 natrysków o różnej wydajności i profilu zraszania. Rozmieszczenie punktów natryskowych i dobór typu zraszaczy uwarunkowany był nie tylko intensywnością emisji pyłu, ale również rodzajem realizowanych operacji technologicznych. Schemat instalacji zraszającej obrazuje rys. 1 oraz zdjęcia (rys. 2–5).

Dla węzła kruszarki wstępnej (C125) możliwe było zastosowanie intensywnego natrysku dwustopniowego. Nad koszem zasypowym zainstalowano listwę z trzema dyszami o stożkach pełnych, penetrujące przestrzeń nad zasypem. Natomiast nad samą komorą kruszenia – cztery natryski bez dysz profilujących, realizują zadanie zwilżania nadawy. Dla kruszarek stożkowych punkty zraszające usytuowane zostały nad zasobnikami retencyjnymi i są to dysze o stożku pełnym. W węzłach przesiewających zastosowano zraszacze mgłowe, ale tylko przy lejach zsypanych kruszyw drobnych. Natomiast w przestrzeniach zrzutu kruszyw z przenośników hałdujący tworzone są kurtyny wodne z wykorzystaniem zraszaczy płaskich. Wyjątek stanowi tłuczeń i grysy 16/22, które są zraszane mgłą wodną. Szczególnie intensywnie nawadniana jest przestrzeń zrzutu półproduktu na zbiornik buforowy. Listwa na przenośniku hałdującym



Rys.1. Plan rozmieszczenia natrysków wodnych w instalacji zraszającej zakładu przeróbczego Kopalni Granodiorytu Łażany (autor: Tomasz Jaworski)

Fig. 1. Map of the water sprays in sprinkler system for Łażany Mine processing granodiorite (by Tomasz Jaworski)

wyposażona została w dwa zewnętrzne zraszacze płaskie oraz środkową dyszę o stożku pełnym, dzięki czemu uzyskano jednocześnie efekty – kurtyny wodnej oraz penetracje przestrzeni.

Sterowanie układem realizowane jest przez operatorów urządzeń przerobczych, z podziałem na sektory odpowiadające trzem stopniom przerobu. Możliwe jest również częściowe stosowanie zraszania w porze zimowej (w krótkich okrasach temperatury minusowej), poprzez przedmuchiwanie wybranych odcinków sprężonym powietrzem. Warto podkreślić, że instalacja została wykonana własnymi siłami, a jej koszt nie przekroczył 25 tys. zł.



Rys. 2. Widok węzła III stopnia kruszenia w kopalni Łaźany - praca pod pełnym obciążeniem i zraszaniem nadawy (fot. M. Stefanicka)

Fig. 2. View of node of the third degree crushing at Łaźany Mine - operation under full load and spraying the feed (photo M. Stefanicka)



Rys. 3. Widok magazynu produkcyjnego w kopalni Łaźany - zraszany stożek 16/22 (fot. M. Stefanicka)

Fig. 3. View of the production magazine at Łaźany Mine - trickling cone 16/22 (photo M. Stefanicka)



Rys. 4. Widok wysypu z kruszarki II stopnia przerobu w kopalni Łaźany - zraszanie wyłączone na czas pomiarów (fot. M. Stefanicka)

Fig. 4. Discharge of the secondary throughput crusher at the Łaźany Mine - water spray off for measurements (photo M. Stefanicka)



Rys. 5. Widok wysypu z kruszarki II stopnia przerobu w kopalni Łaźany - zraszanie włączone (fot. M. Stefanicka)

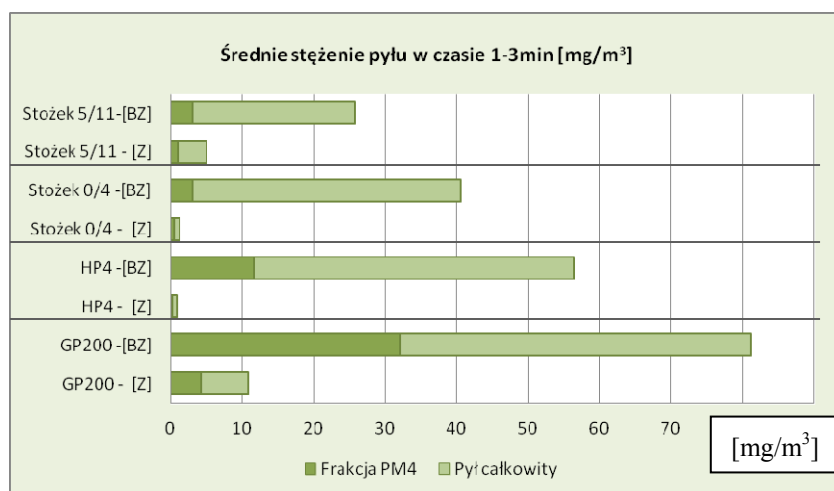
Fig. 5. Discharge of the secondary throughput crusher at the mine Łaźany Mine - water spray off (photo M. Stefanicka)



Pomiary sondażowe skuteczności redukcji zapylenia dla instalacji zraszającej funkcjonującej w kopalni Łażany przeprowadzono zgodnie z metodyką opisaną powyżej. Wyniki pomiarów stężeń podczas włączonej i wyłączonej instalacji zraszającej, dla wybranych obiektów i punktów pomiarowych obrazują diagramy zestawione na rys. 6. Przy maksymalnym dawkowaniu wody, wskaźnik redukcji zapylenia dla pyłu całkowitego ( $S_{TSP}$ ) oraz frakcji drobnych ( $S_{PM4}$ ) była następująca:

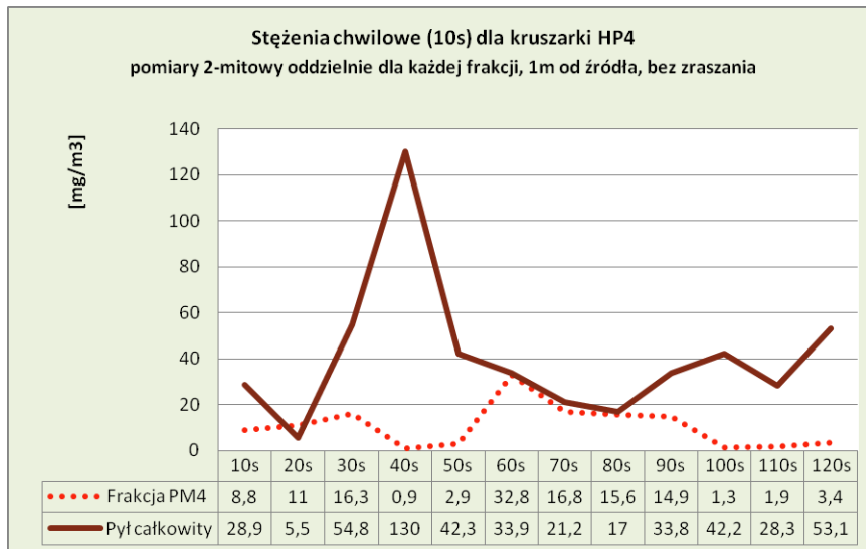
- II stopień kruszenia (w odległości 0,8 m od wysypu z GP200S na przenośnik) -  $S_{TSP} = 84\%$ ,  $S_{PM4} = 80\%$
- III stopnia kruszenia (w odległości 1,2m od wysypu z HP4 na przenośnik) -  $S_{TSP} = 98\%$ ,  $S_{PM4} = 97\%$
- Stożek magazynowy kruszywa 0/4 (2m od źródła) -  $S_{TSP} = 97\%$ ,  $S_{PM4} = 84\%$
- Stożek magazynowy kruszywa 5/11 (2,5m od źródła) -  $S_{TSP} = 80\%$ ,  $S_{PM4} = 65\%$

Warto również zwrócić uwagę na dynamikę zjawiska unoszenia i propagacji pyłu z operacji technologicznych kruszenia; przykładowe wyniki pomiarów dla kruszarki HP4 obrazują diagramy na rys. 7. Współczynnik zmienności stężenia pyłu (wyrażony jako iloraz wielkości maksymalnej do minimalnej) dla okresów 2-minutowych kształtował się na poziomie 25- i 36-krotności odpowiednio dla pyłu TSP oraz frakcji PM4. Niestety jest to specyficzna cecha technologii przeróbki kruszyw, która jest czynnikiem utrudniającym sterowanie procesem zraszania, nawet w systemach zautomatyzowanych.



Rys. 6. Stężenie pyłu wokół źródeł technologicznych zakładu przerobczego w kopalni Łażany, podczas zraszania [Z] oraz bez zraszania [BZ]

Fig. 6. Concentration of dust around the sources at technological processing plant at the Łażany Mine - spraying on [Z] and off [BZ]



Rys. 7. Zmiana stężenia pyłu w czasie 2- minut dla kruszarki HP4, pomiar 1 m od wysypu z kruszarki na przenośnik  
Fig. 7. Change in dust concentration during two minutes for crushers HP4, measured 1m from the crusher discharge conveyor

### 3.3 TECHNIKI OGRANICZANIA ZAPYLENIA W KOPALNI GRANITU W WIEŚNICY

W Kopalni Wieśnica stacjonarny zakład przerobczy II i III stopnia przerobu w całości został zhermetyzowany oraz wyposażony w system odpylania odciągowego, z dwoma stacjami filtrów pulsacyjnych. Instalacja odpylająca podlega nadzorowi, a wyniki pomiarów kontrolnych potwierdzają skuteczność filtracji powietrza odciągowego na poziomie powyżej 95% (Stefanicka, Weis, Wojtaszek 2013).

Dla zobrazowania skuteczności stosowania obudów przenośnikowych, wykonano sondażowe pomiary stężenia pyłu (w sytuacji włączonej instalacji odpylającej), przy osłonach oraz na odcinkach rewizyjnych przenośników pozbawionych segmentów osłonowych (rys. 8).

W zakładzie stacjonarnym zraszanie wodne stosowane jest wyłącznie na etapie ekspedycji kruszyw – w zautomatyzowanej stacji załadunkowej, która jest jednocześnie objęta system odpylania (rys. 9). Zraszacze umiejscowione są wewnątrz w teleskopowym rękawie załadunkowym oraz niezależnie w przestrzeni nad skrzynią ładunkową pojazdów samochodowych. Ten sposób załadunku kruszyw, w zakresie emisji pyłu, porównano z załadunkiem tradycyjnym z wykorzystaniem ładowarki kołowej. Punkty pomiarowe usytuowano w podobnych odległościach od skrzyni ładunkowej (2 m od źródła), a przedmiotem załadunku była frakcja kruszywa 0/32.



Rys. 8. Obudowy i osłony przenośnikowe w kopalni Wieśnica (fot. M.Stefanicka)

Fig. 8. Rehandling cases and guards at the conveyor at Wieśnica Mine (photo M. Stefanicka)



Rys.9. Załadunek kruszywa 0/32 rękawem teleskopowym - odpylana i zraszana stacja załadunkowa w kopalni Wieśnica (fot. M.Stefanicka)

Fig. 9. Aggregate 0/32 loading with telescopic sleeves - system at Wieśnica Mine (photo M. Stefanicka)

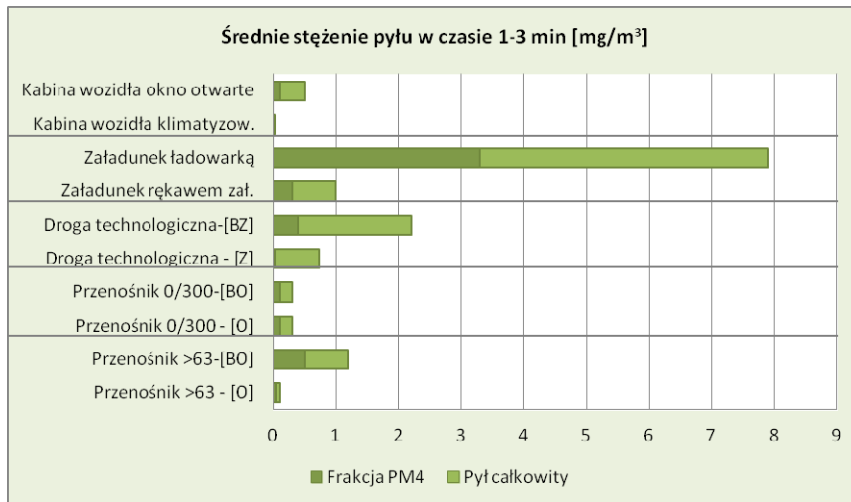
Uciążliwym źródłem emisji wtórnej pyłu są drogi technologiczne i transport kołowy. W kopalni Wieśnica nawierzchnie wszystkich dróg są utwardzone oraz systematycznie zraszane za pomocą przewoźnego beczkowozu. Woda wyprowadzona jest pod ciśnieniem własnym, dyszą rurową z otworami. Pomiarzy zapylenia wykonano dla nawierzchni suchej, wilgotnej i mokrej oraz przy różnych prędkościach przejazdu samochodów technologicznych, w odległości 1m od trasy przejazdu.

Dla zobrazowania konieczności utrzymywania szczelności kabin operatorów maszyn i sprzętu ciężkiego, dokonano sondażowych pomiarów wpływu otwarcia okna kabiny klimatyzowanej w czasie jazdy wozidła, na drodze o nawierzchni zroszonej wodą.

Wyniki pomiarów stężeń zapylenia dla omówionych źródeł technologicznych, w zależności od stosowanych środków ograniczających zapylenie, zestawiono w postaci diagramów na rys. 10 i 11. Poziom skuteczności stosowanych ochron technicznych dla pyłu całkowitego ( $S_{TSP}$ ) oraz frakcji drobnych ( $S_{PM4}$ ) jest następujący:

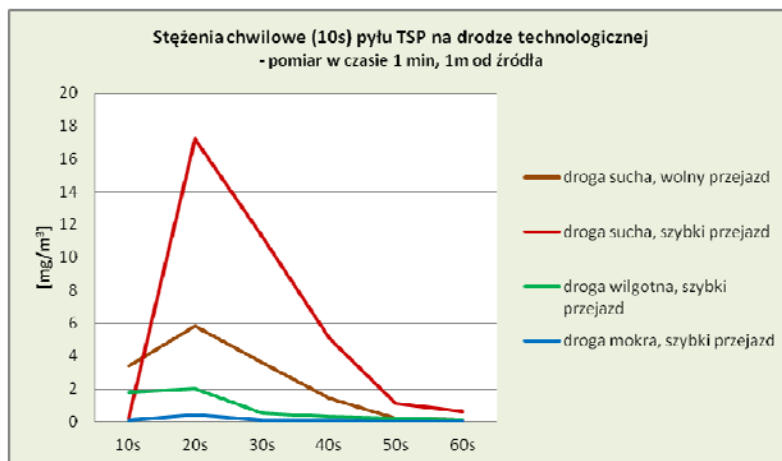
- osłony przenośnikowe dla frakcji powyżej 60mm –  $S_{TSP} = 92\%$ ,  $S_{PM4} = 90\%$
- załadunek rękawem załadunkowym z systemem odpylania i zraszania w porównaniu do załadunku ładowarką –  $S_{TSP} = 87\%$ ,  $S_{PM4} = 91\%$
- zraszanie dróg technologicznych, dla drogi mokrej w odniesieniu do suchej –  $S_{TSP} = 95\%$ ,  $S_{PM4} = 93\%$
- hermetyzacja i klimatyzacja kabiny w warunkach minimalnego pylenia zewnętrznego (drogi zraszane) –  $S_{TSP} = 94\%$ ,  $S_{PM4} = 80\%$ .

Skuteczność środowiskowa stosowanych środków ograniczających zapylenie dla obu kopalń – Łażany i Wieśnica, została potwierdzona pomiarami kontrolnymi na granicy własności oraz dla obiektów chronionych sąsiadujących wsi. Pozytywny wizerunek zakładów prezentują załączone ilustruje zdjęciowe (rys. 12 i 13).



Rys. 10. Stężenie pyłu wokół źródeł technologicznych w Kopalni Wieśnica, w zależności od stosowanych środków ograniczających zapylenie: zraszanie [Z], bez zraszania [BZ], osłona na przenośniku [O], część przenośnika bez osłony [BO]

Fig. 10. Concentration of dust around the sources of process at Wieśnica Mine, depending on the use of pollution reducing measures: spray [Z], no spraying [BZ], the cover on the conveyor [O], part of the conveyor without cover [BO]



Rys. 11. Zmiany stężenia pyłu całkowitego (TSP) na drodze technologicznej, w zależności od stopnia nawilżenia nawierzchni (tłuczniowej) oraz szybkości ruchu pojazdu

Fig. 11. Changes in the concentration of total suspended particulates (TSP) along processing track, depending on the degree of surface moisture (gravel) and the speed of the vehicle



Rys. 12. Widok Kopalni Granodiorytu Łazany  
(fot. M. Stefanicka)

Fig. 12. View of Łazany Granodiorite  
Mine(photo M. Stefanicka)



Rys.13. Widok Kopalni Granitu Wieśnica (fot.  
M. Stefanicka)

Fig. 13. View of Wieśnica Granite Mine (photo  
M. Stefanicka)

#### 4. PODSUMOWANIE

Wykonane pomiary sondażowe stężeń pyłu w środowisku zakładów produkcji kruszyw potwierdziły, że zraszanie jest skuteczną metodą ograniczania zapylenia. Możliwe jest uzyskiwanie redukcji pyłu nawet powyżej 90%, ale w odniesieniu do frakcji drobnych skuteczność ta jest na ogół od kilku do kilkunastu procent niższa. Uzyskane wyniki dotyczą wyłącznie przestrzeni produkcyjnych objętych bezpośrednim zasięgiem wpływu punktów natryskowych i należy je traktować jako wielkości chwilowe oraz maksymalne dla punktu pomiarowego. Stąd nie należy ich utożsamiać ze skutecznością instalacji zraszającej w odniesieniu do całego ciągu przerobczego. Niestety możliwości stosowania natrysków wodnych w ciągu produkcyjnym są ograniczone, a pomocnym rozwiązaniem jest stosowanie różnego rodzaju dysz profilujących. Skuteczność instalacji zraszającej będzie również uwarunkowana sposobem sterowania i jest to problem trudny do rozwiązania, nawet w systemach zautomatyzowanych, z uwagi na niezwykle dynamiczny przebieg procesu produkcji kruszyw. Projektowanie instalacji zraszających z pewnością wymaga wiedzy i zrozumienia jednocześnie - technologii produkcji, zjawisk propagacji pyłu oraz technik ograniczania zapylenia. Dobrze jeżeli proces ten wspomagany jest pomiarami stężeń pyłu wykonywanych bezpośrednio na obiekcie technologicznym.

Wymienione wady instalacji zraszających eliminuje hermetyzacja i odpylanie procesowe, ale niestety wymagają one dużych nakładów inwestycyjnych. Dla utrzymania czystości pyłowej nie jest konieczne bezwzględne umieszczanie urządzeń przerobczych w obiektach budowlanych. Skutecznym rozwiązaniem jest wykonanie właściwych indywidualnych obudów i osłon. Nawet dla stosunkowo czystych przestrzeni transportu przenośnikowego, można uzyskać stopień redukcji zapylenia powyżej 90%.

Wyjątkowe preferowane są systemy załadunku kruszyw rękawami teleskopowymi, gdzie uszczelnienie i odpylanie uzupełnione jest zraszaniem wodnym. Hermetyzacja procesu produkcji kruszyw powinna być zadaniem właściwie rozwiązany, już na etapie projektowania inwestycji przeróbczej.

Skuteczność redukcji zapylenia wtórnego, szczególnie w odniesieniu do dróg technologicznych, zdecydowania zależy od stopnia nawilżenia nawierzchni drogowej. Stąd w sytuacji stosowania zraszania okresowego wymagana jest właściwa kontrola tych czynności. Zraszanie dróg i placów w zakładach kruszyw powinno być obowiązującym standardem.

Zaprezentowane przykłady redukcji zapylenia należy traktować jako „dobre praktyki”, warto z nich korzystać oraz podnosić swoje kompetencje w tych obszarach. Coraz częściej będziemy oceniać rozwiązania technologiczne i nowe inwestycje w górnictwie kruszyw, przypisując większą wagę aspektom bezpieczeństwa zdrowia i środowiska. Sprecyzowanie technicznych metod redukcji zapylenia powinno być integralną częścią każdego projektu technologii produkcji kruszyw.

W historii górnictwa skalnego - był czas na ilość, efektywność ekonomiczną i jakość - teraz nadchodzą czasy bezpieczeństwa środowiskowego. Zakłady kruszyw muszą być bezpieczne dla otoczenia i tylko takie będą mogły się rozwijać.

Artykuł zawiera wyniki pracy badawczej „Ocena skuteczności stosowanych technicznych rozwiązań ochronnych w górnictwie skalnym w ograniczaniu zapylenia w środowisku kopalnianym”, realizowanej w ramach zlecenia statutowego Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej (Nr I1100-S20065).

#### LITERATURA

- Ankiety informacyjne programu badawczego „Badania skuteczności stosowanych technicznych rozwiązań ochronnych w górnictwie skalnym - w ograniczaniu zapylenia w środowisku kopalnianym”, praca statutowa Instytutu Górnictwa PW Nr I1100-S20065
- Dokumentacja techniczna zakładu przeróbki kruszyw w Kopalni Granodiorytu Łażany
- Dokumentacja projektowa zakładu przeróbki kruszyw w Kopalni Granitu Wieśnica
- STEFANICKA M., 2012, *Wybrane aspekty oceny ryzyka zawodowego na krystaliczną krzemionkę w górnictwie skalnym wg krajowych oraz europejskich standardów higienicznych*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PW, nr 134, Seria: Studia i Materiały, nr 41, Górnictwo i Geologia XVII
- STEFANICKA M., WEIS M., WOJTASZEK T., 2013, *Unikatowy zakład produkcji kruszyw granitowych w Kopalni Wieśnica*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PW, nr 136, Seria: Studia i Materiały, nr 43, Górnictwo i Geologia XIX, Wrocław 2013
- WIĘCEK E., 2011, *Kryteria zdrowotne pobierania próbek aerozoli w środowisku pracy*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy nr 2(68)/2011, CIOP Warszawa
- www: bete-dysze.pl; ideasytem.com.pl; otech.pl

TECHNICAL MEASURES TO REDUCE POLLINATION  
AND ASSESSEMENT OF THEIR EFFECTIVENESS

The article deals with the issues of pollination as a phenomenon that is harmful and commonly found in aggregates production plants. It points difficulties with spatial modelling and determination of scale of disorganized emission of dust within conditions of aggregate processing. Technical methods to reduce pollination and possibilities of their use in processing plants are being discussed. The article presents results of measurements of dust concentrations in real time for specific technical processes and an assessment of the effectiveness of applied technical solutions reducing pollination.