

Badania parametrów strumieni zraszających dysz drobnokroplistych

mgr inż. Michał Siegmund
dr inż. Dominik Bałaga
dr inż. Marek Kalita
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Testing the parameters of spraying stream form fine-drops nozzles

Streszczenie:

W artykule przedstawiono innowacyjne rozwiązanie opracowanej w Instytucie KOMAG samoczyszczącej dyszy powietrzno-wodnej umożliwiającej wytwarzanie strumieni drobnokroplistych. Omówiono jej budowę i zasadę działania. Przedstawiono przebieg badań parametrów pracy dyszy oraz strumienia zraszającego wraz z omówieniem ich wyników.

Abstract:

Innovative solution of self-cleaning air-water nozzle, developed in KOMAG, which enables generation of fine-drops water streams is presented. Its design and principles of operation is discussed. Procedure for testing the operational parameters of the nozzle and the spraying water stream is given as well as the test results are discussed.

Słowa kluczowe: górnictwo, bezpieczeństwo, redukcja zapylenia, dysza samoczyszcząca

Keywords: mining industry, safety, airborne dust control, self-cleaning nozzle

1. Wprowadzenie

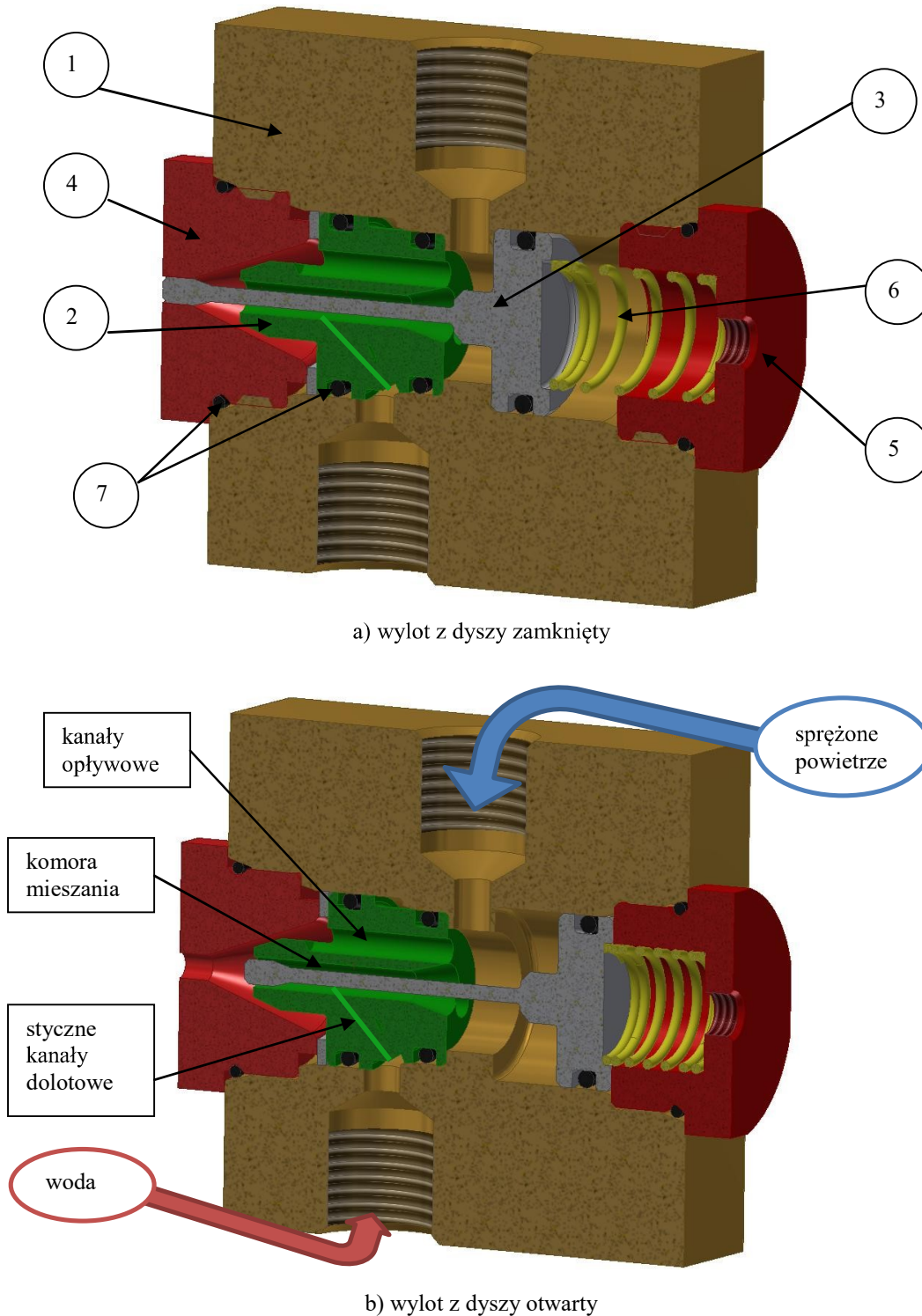
W Instytucie KOMAG opracowano, oraz z powodzeniem wdrożono, szereg rozwiązań dysz zraszających przeznaczonych do redukcji zapylenia szczególnie w podziemiach kopalń węgla kamiennego [2, 3, 4]. Coraz częściej stosowane są rozwiązania dysz zraszających wykorzystujących sprężone powietrze do rozpylenia strumienia wodnego, szczególnie wytwarzających mgłę powietrzno-wodną o rozmiarze kropelek do kilkunastu μm . Zebrane dotychczas doświadczenia w zakresie eksploatacji dysz zabudowanych w urządzeniach zraszających eksploatowanych w kopalniach węgla kamiennego, wskazują, że może dochodzić do zanieczyszczenia wnętrza dysz, a tym samym do ograniczenia ich poprawnego działania [3, 5]. Rozwiązaniem tego problemu są systemy samoczynnego domykania (czyszczenia) wylotu dyszy, w celu zabezpieczenia przed wnikaniem zewnętrznych zanieczyszczeń mogących uszkodzić dyszę lub negatywnie wpłynąć na parametry strumienia zraszającego. W Instytucie KOMAG opracowano i wdrożono rozwiązanie dyszy powietrzno-wodnej z wewnętrznym mieszaniem czynników typu STK [6, 7]. Na podstawie tej konstrukcji opracowano rozwiązanie dyszy samoczyszczącej, której prototyp został poddany badaniom stanowiskowym w kilku wariantach wykonania w celu wyznaczenia jej parametrów pracy oraz rozkładu frakcyjnego kropelek strumienia zraszającego. Ze względu na przeznaczenie opracowywanego rozwiązania dyszy, a więc redukcję zapylenia, w części dotyczącej analizy wyników badań posłużono się średnicą zastępczą objętościowo-powierzchniową **D32** (Sautera). Średnica ta, jest to średnica jednorodnego zbioru zastępczego o tej samej sumarycznej objętości i tej samej sumarycznej powierzchni wszystkich kropli, jak w zbiorze rzeczywistym [8, 9, 10].

2. Rozwiązanie samoczyszczącej dyszy drobnokroplistej

Głównym założeniem przy opracowywaniu konstrukcji dyszy była możliwość generowania drobnokroplistej mgły powietrzno-wodnej, z jednoczesną funkcją

samoczyszczenia. Założono, iż przy zasilaniu odpowiednimi parametrami mediów dysza będzie mogła wytwarzać strumień, którego średnica zastępcza D_{32} (Sautera) będzie mieścić się w zakresie poniżej $20 \mu\text{m}$ (suchej mgły wodnej).

Opracowano egzemplarz badawczy samoczyszczącej dyszy drobnokroplistej, której model (w przekroju) przedstawiono na rysunku 1.



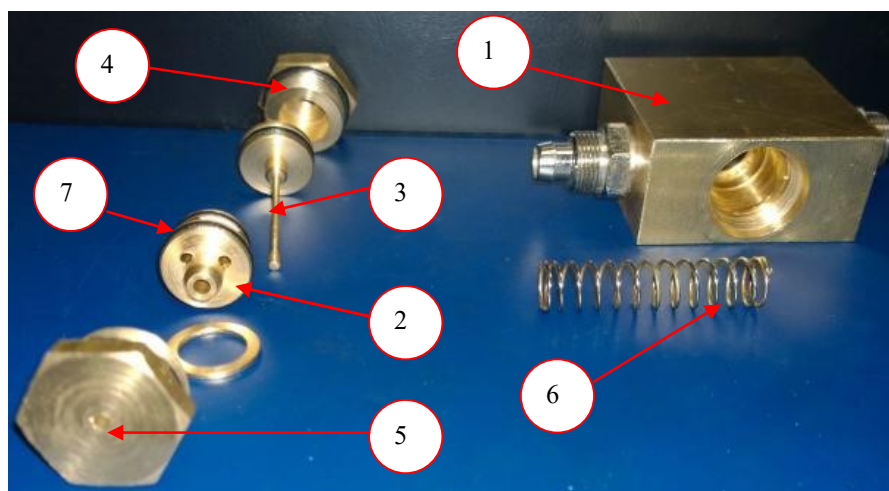
Rys. 1. Model 3D samoczyszczącej dyszy drobnokroplistej [12]: 1 - korpus, przyłączeniowy, 2 - dysza wewnętrzna, 3 - iglica z tłoczkiem, 4 - tuleja wylotowa, 5 - korek zamykający, 6 - sprężyna, 7 - uszczelnienia

Istotą rozwiązania jest przesuwana iglica otwierająca i zamykająca wylot z dyszy w celu jej zabezpieczenia przed wnikaniem zanieczyszczeń z zewnątrz. Praca iglicy uzależniona jest od działania tłoczka sterowanego sprężonym powietrzem. Korpus dyszy umożliwia doprowadzenie sprężonego powietrza oraz wody. Powietrze z kanału wlotowego rozchodzi się w dwie strony: w kierunku tłoczka z iglicą oraz w kierunku dyszy wewnętrznej. Naciskając na tłoczek z iglicą powietrze powoduje jego cofnięcie, z jednoczesnym otwarciem wylotu z dyszy. Powietrze przepływa jednocześnie wewnątrz komory mieszania, jak i na zewnątrz, poprzez specjalne kanały opływowe. W tym czasie specjalnie ukształtowana głowica iglicy przesuwa się w kierunku wylotu z komory mieszania dyszy wewnętrznej, co powoduje wzrost prędkości przepływającego medium, w wyniku przejścia przez przewężenie. Po dostarczeniu do dyszy wody o ciśnieniu zbliżonym do ciśnienia sprężonego powietrza (z zakresu ciśnienia roboczego $0,3 \div 0,6$ MPa), dostaje się ona do komory mieszania poprzez styczne kanały dolotowe. Wprawiona w ruch wirowy woda, w komorze mieszania, poddawana jest wymieszaniu z przepływającym sprężonym powietrzem. Prędkość wylotu mieszaniny obu mediów zostaje zwiększona na wylocie z komory, w wyniku przejścia przez zwężkę. Po wylocie z komory mieszanina wtórnie rozrywana jest przez sprężone powietrze przepływające szczeliną pomiędzy dyszą wewnętrzną, a tuleją wylotową, co pozwala na powstawanie kropeł o średnicach mgły wodnej $< 20 \mu\text{m}$. Po zamknięciu dopływu mediów zraszających, tłoczek wraz z iglicą przesuwa się w kierunku wylotu z dyszy, gdzie domykając ją, zabezpiecza przed przypadkowym dostaniem się zewnątrz do wnętrza dyszy.

Badania dyszy samoczyszczącej przeprowadzono dla następujących konfiguracji zasilania komory mieszania:

- trzy otwory wlotowe wody o średnicy 0,8 z iglicą zamykającą (typ dyszy; DSD – K1),
- jeden otwór wlotowy wody o średnicy 0,8, bez iglicy zamykającej (typ dyszy; DSD – K2),
- jeden otwór wlotowy wody o średnicy 0,8, z iglicą zamykającą (typ dyszy; DSD – K3).

Badawczy egzemplarz dyszy przedstawiono na rysunku 2.

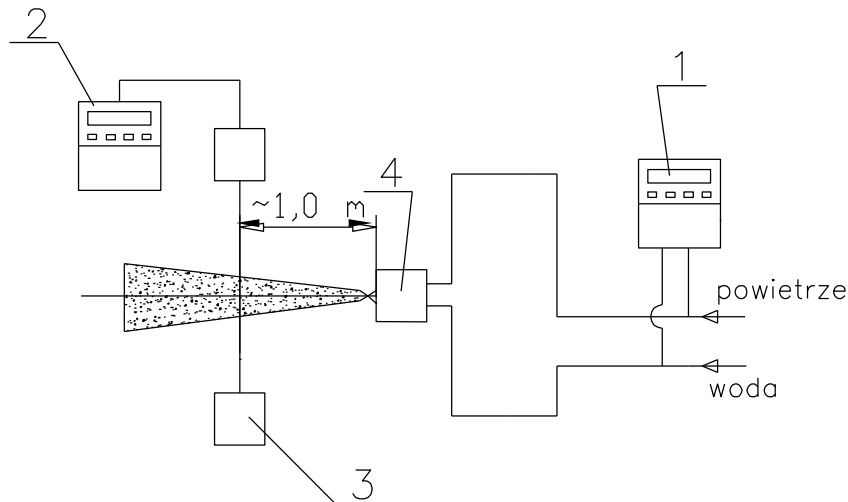


Rys. 2. Egzemplarz badawczy dyszy samoczyszczącej drobnokroplistej [11, 12]: 1 - korpus, przyłączeniowy, 2 - dysza wewnętrzna, 3 - iglica z tłoczkiem, 4 - tuleja wylotowa, 5 - korek zamykający, 6 - sprężyna, 7 - uszczelnienia

3. Metodyka badawcza i przebieg badań

Badanie parametrów pracy dyszy polegało na pomiarze wartości ciśnienia i natężenia przepływu oraz rozkładu frakcyjnego kropeł w strumieniu zraszającym każdej z typów dysz, w zależności od wartości ciśnienia wody i sprężonego powietrza.

Schemat stanowiska badawczego pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego [1, 12]: 1 - zespół pomiarowy mediów (woda oraz powietrze), 2 - aparatura rejestrująca analizatora kropeł, 3 - analizator kropeł, 4 - dysza powietrzno-wodna wraz z korpusem mocującym

W trakcie badań rejestrowano (rys. 4):

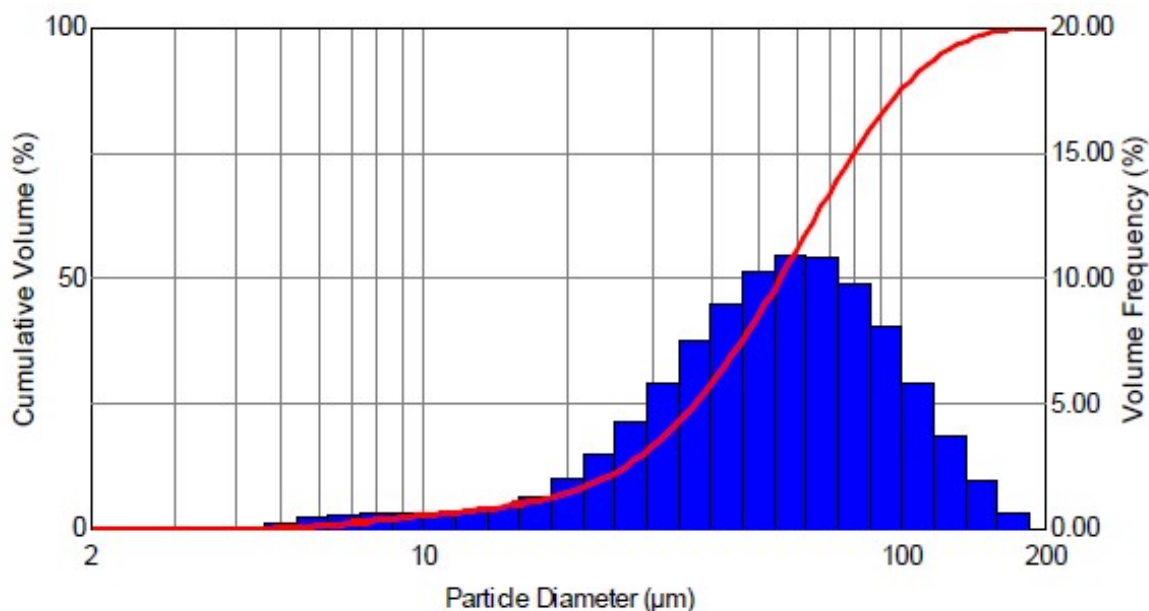
- rozkład średnic cząstek w rozpylanym strumieniu cieczy,
- wartości ciśnienia zasilania i objętościowego natężenia przepływu powietrza w magistrali powietrznej, zasilającej dyszę,
- wartości ciśnienia zasilania i objętościowego natężenia przepływu wody w magistrali wodnej, zasilającej dyszę.



Rys. 4. Pomiar rozkładu frakcyjnego średnic kropeł [11, 12]

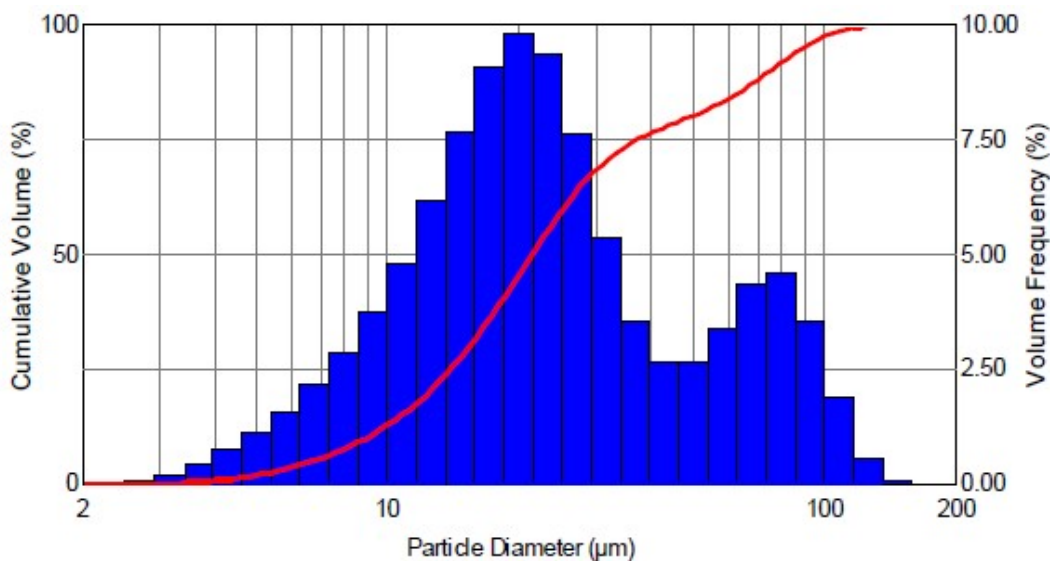
Pomiary prowadzono dla jednakowych wartości ciśnienia wody i powietrza, tj.; 0,3; 0,4; 0,5 oraz 0,6 MPa. Dodatkowo sprawdzano poprawność działania dyszy przy różnicy wartości ciśnienia 0,02 MPa, przy której wytwarzany strumień zachowywał poprawny kształt.

W pierwszej kolejności przeprowadzono badania dyszy dla konfiguracji K1 (trzy otwory wlotowe wody o średnicy 0,8 mm wraz z iglicą zamykającą wylot). Sprawdzano poprawność pracy dyszy, zużycie mediów zraszających oraz stopień rozdrobnienia kropeł wytwarzanego strumienia. Dysza po dostarczeniu mediów zraszających wytwarzała poprawny kształt strumienia zraszającego (kształt pełnego stożka). Podanie sprężonego powietrza o wartości ciśnienia powyżej 0,3 MPa powodowało cofnięcie iglicy czyszczącej o ok. 7 mm i otwarcie wylotu z dyszy. Parametry pracy dyszy, w konfiguracji K1, zawarto w tabeli 1, a rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa, pokazano na rysunku 5.



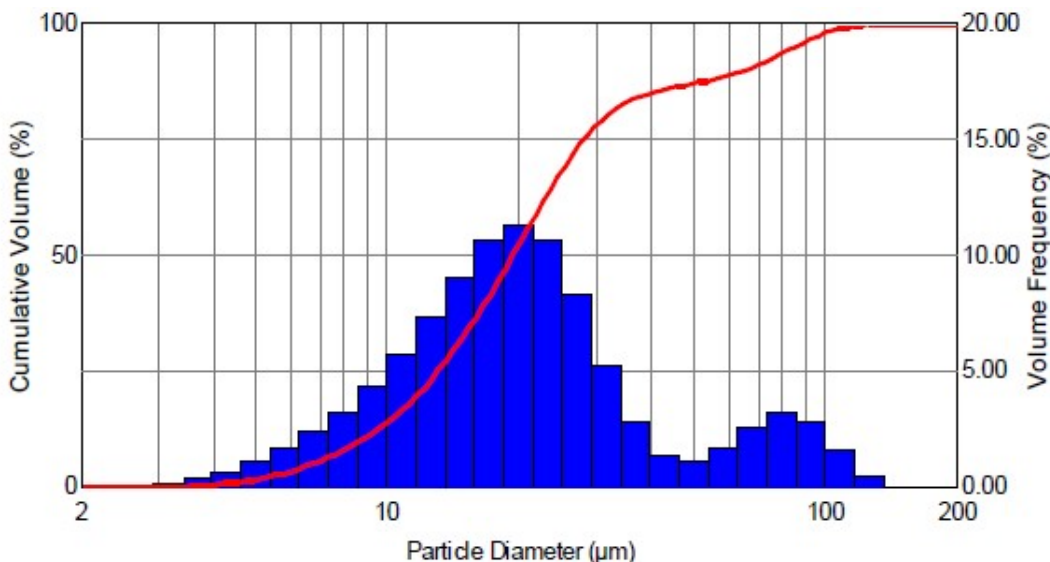
Rys. 5. Rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa (woda i powietrze) - dysza samoczyszcząca w konfiguracji K1 [11, 12]

Następnie wykonano pomiary parametrów pracy dyszy bez iglicy czyszczącej (tłoczek i iglica zostały tak obrócone, aby iglica wychodziła przez otwór odpowietrzający w korku) - konfiguracja K2. Dodatkowo, w dyszy wewnętrznej zaślepiono dwa otwory wlotowe wody, a pozostawiono jeden otwór o średnicy 0,8 mm. Dysza po podłączeniu mediów zraszających wytwarzała strumień zraszający o kształcie pełnego stożka. Podanie sprężonego powietrza, o wartości ciśnienia w zakresie 0,3-0,6 MPa, powodowało przemieszczenie się iglicy o ok. 7 mm i otwarcie wylotu z dyszy. Parametry pracy dyszy w konfiguracji K2, zawarto w tabeli 1, a rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa pokazano na rysunku 6.



Rys. 6. Rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa (woda i powietrze) - dysza samoczyszcząca w konfiguracji K2 [11, 12]

Zweryfikowano również parametry pracy dyszy z iglicą czyszczącą – konfiguracja K3. Tak jak w przypadku konfiguracji K2, zaślepiono dwa otwory wlotowe wody, pozostawiając jeden otwór o średnicy 0,8 mm. Dysza po podłączeniu mediów zraszających wytwarzała strumień zraszający o kształcie pełnego stożka. Podanie sprężonego powietrza, o wartości ciśnienia w zakresie 0,3-0,6 MPa, powodowało przemieszczenie się iglicy i otwarcie wylotu z dyszy. Parametry pracy dyszy w konfiguracji K3, zawarto w tabeli 1, a rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla ciśnienia 0,6 MPa, pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Rozkład frakcyjny kropeł w wytwarzanym strumieniu zraszającym dla wartości ciśnienia 0,6 MPa (woda i powietrze) - dysza samoczyszcząca w konfiguracji K3 [11, 12]

Dla konfiguracji dyszy K2 i K3 rozkład częstości występowania średnic kropeł w przedziałach średnic ustalonych w oprogramowaniu analizatora oraz krzywa skumulowana są do siebie bardzo zbliżone. Konfigurację dyszy K1 cechuje strumień o rozkładzie bardziej jednorodnym jednak ze znacznie wyższą wartością średniej wielkości kropli.

4. Omówienie wyników badań

Podczas analizy wyników badań dyszy drobnokropliczej skupiono się na parametrach jakościowych strumienia zraszającego. Jako parametr dobrze opisujący generowany strumień przyjęto średnicę Sautera **D(32)**. W celu właściwego doboru dyszy do systemu zraszającego zaproponowano wprowadzenie do praktyki inżynierskiej dodatkowego parametru opisującego strumień zraszający w formie powierzchni absorpcji wytwarzanych kropeł. Parametr ten opisano w trzech wariantach:

1. **PA/T** - powierzchnia absorpcji wszystkich kropeł w strumieniu zraszającym wytworzonych w czasie 60 s.
2. **PA/W** - powierzchnia absorpcji wszystkich kropeł w strumieniu zraszającym wytworzonych przy rozpyleniu 1 dm³ wody.
3. **PA/P** - powierzchnia absorpcji wszystkich kropeł w strumieniu zraszającym wytworzonych przy użyciu sprężonego powietrza o objętości 1 Nm³.

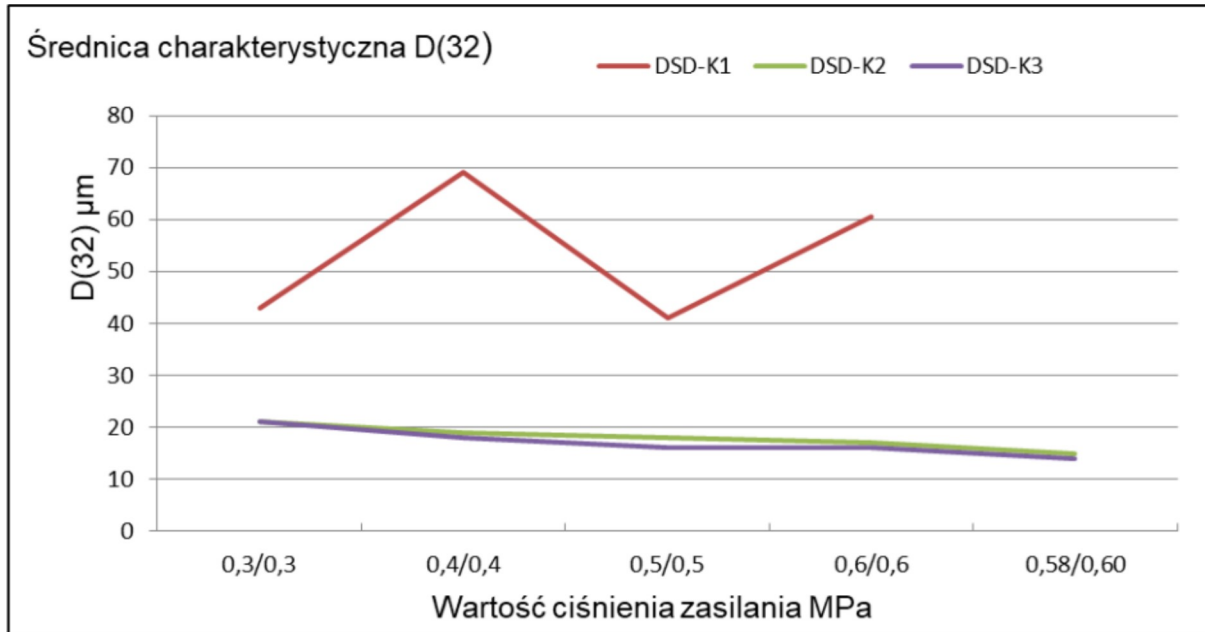
Powierzchnię absorpcji obliczono na podstawie zmierzonych wielkości średnich kropeł **D(32)** oraz zużycia wody i sprężonego powietrza. Wyniki przedstawiające zmianę wartości poszczególnych parametrów w zależności od wartości ciśnienia zasilania przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki badań różnych typów dysz samoczyszczących-drobnokropliczych [12]

Tabela 1

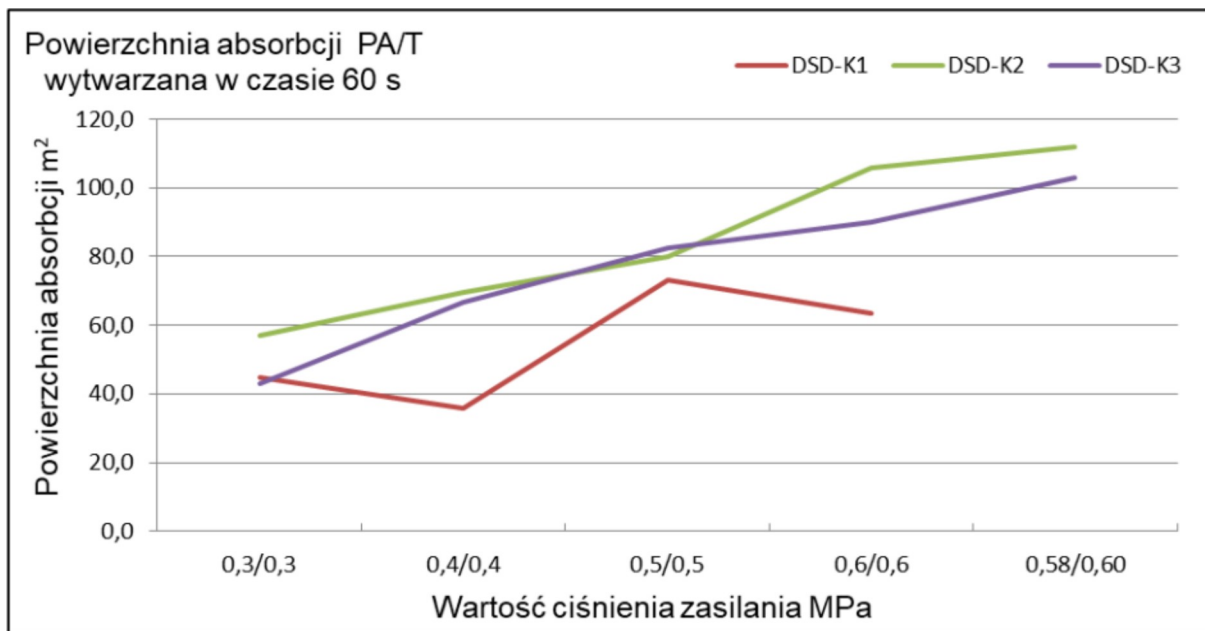
Parametry strumienia dyszy:							
<ul style="list-style-type: none"> • DSD – K1 - konfiguracja 1- 3x otwór o średnicy 0,8 • DSD – K2 - konfiguracja 2- 1x otwór o średnicy 0,8, bez iglicy czyszczącej, • DSD –K3 -samoczyszcząca konfiguracja 3- 1x otwór o średnicy 0,8, z iglicą czyszcząca 							
Typ dyszy	Ciśnienie mediów zasil. [woda/powietrze] [MPa/MPa]	Natężenie przepływu wody [dm ³ /min]	Natężenie przepływu powietrza [Nm ³ /min]	Średnica D (32) [μm]	Powierzchnia absorpcji PA/T [m ²]	Powierzchnia absorpcji PA/W [m ²]	Powierzchnia absorpcji PA/P [m ²]
DSD-K1	0,3/0,3	0,32	0,042	43	44,7	139,5	1063,1
	0,4/0,4	0,41	0,062	69	35,7	87,0	575,0
	0,5/0,5	0,5	0,72	41	73,2	146,3	101,6
	0,6/0,6	0,64	0,081	60,5	63,5	99,2	783,6
DSD-K2	0,3/0,3	0,2	0,072	21	57,1	285,7	793,7
	0,4/0,4	0,22	0,103	19	69,5	315,8	674,5
	0,5/0,5	0,24	0,129	18	80,0	333,3	620,2
	0,6/0,6	0,3	0,181	17	105,9	352,9	585,0
	0,58/0,60	0,28	0,179	15	112,0	400,0	625,7
DSD-K3	0,3/0,3	0,15	0,059	21	42,9	285,7	726,4
	0,4/0,4	0,2	0,089	18	66,7	333,3	749,1
	0,5/0,5	0,22	0,116	16	82,5	375,0	711,2
	0,6/0,6	0,24	0,144	16	90,0	375,0	625,0
	0,58/0,60	0,24	0,142	14	102,9	428,6	724,3

Na podstawie zawartych w tabeli 1 opracowano wykresy porównawcze dla wszystkich przebadanych konfiguracji dysz samoczyszczących. Na rysunku 8 przedstawiono wykres zmian podstawowego parametru jakościowego strumienia **D(32)** w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających.



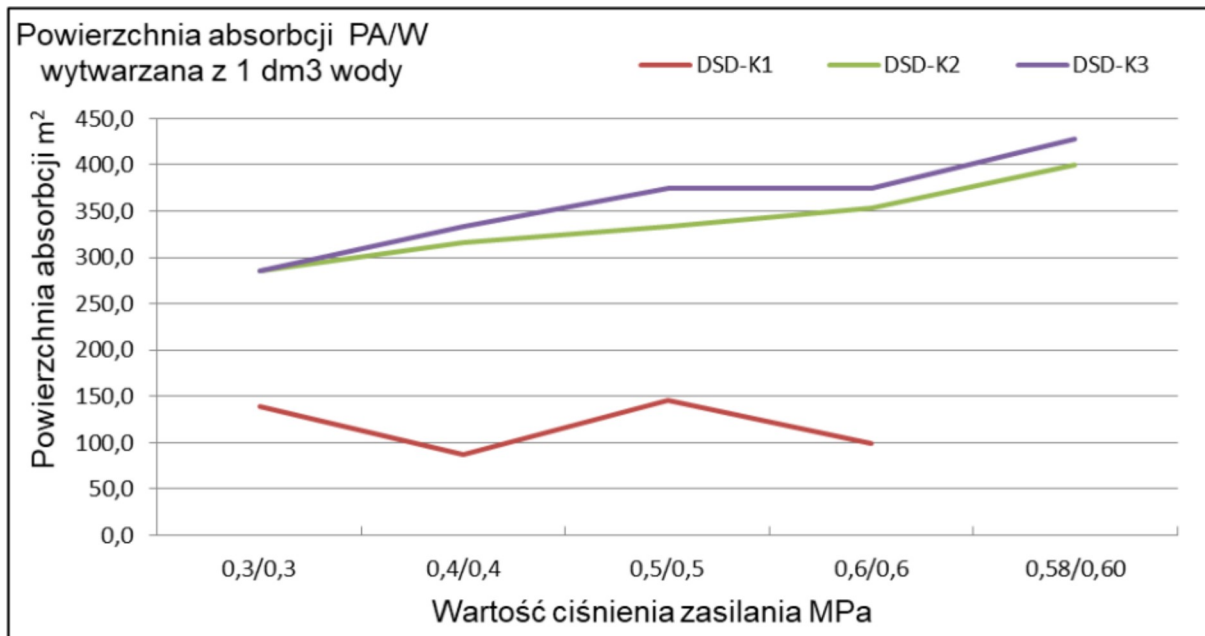
Rys. 8. Średnica charakterystyczna D(32) w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających [12]

Na rysunku 9 przedstawiono wykres zmian powierzchni absorpcji PA/T w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających.



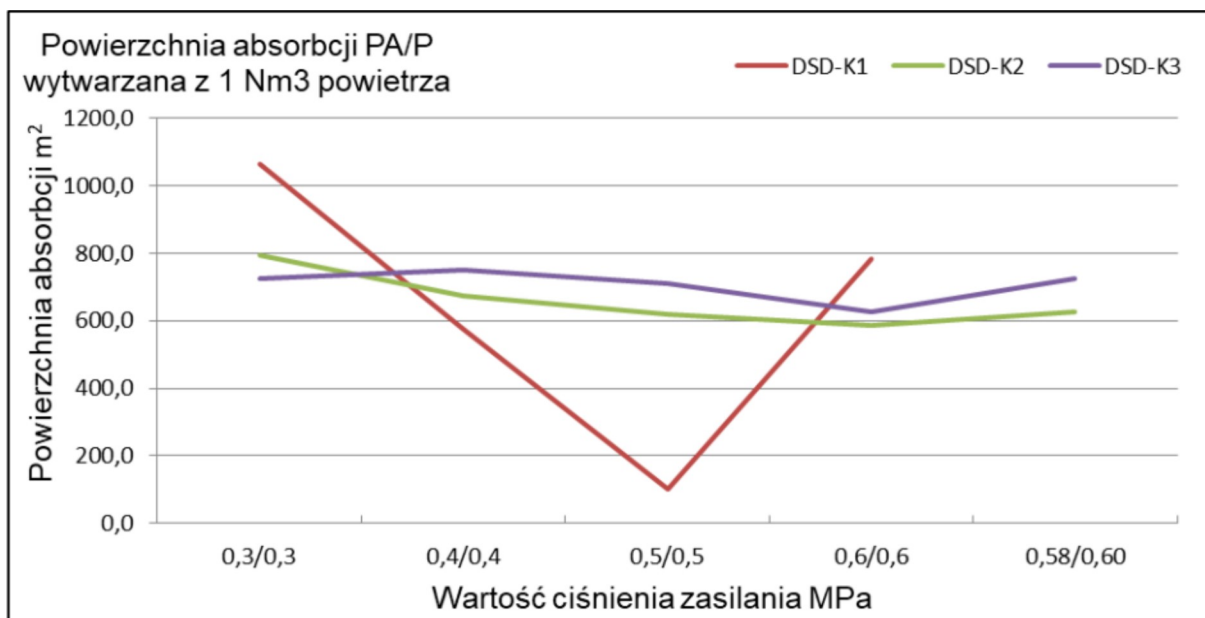
Rys. 9. Powierzchnia absorpcji PA/T w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających [12]

Na rysunku 10 przedstawiono wykres zmian powierzchni absorpcji PA/W w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających.



Rys. 10. Powierzchnia absorpcji PA/W w zależności od wartości ciśnienia mediów zasilających [12]

Na rysunku 11 przedstawiono wykres zmian powierzchni absorpcji PA/P w zależności od ciśnienia mediów zasilających.



Rys. 11. Powierzchnia absorpcji PA/P w zależności od ciśnienia mediów zasilających [12]

Na podstawie otrzymanych wyników badań można stwierdzić, iż:

- egzemplarz badawczy samoczyszczącej dyszy drobnokroplistej działał w sposób poprawny (otwierał się podczas działania i zamykał po odcięciu mediów zasilających),
- uzyskano wysoki stopień rozdrobnienia strumienia zraszającego, w wyniku zastosowania tylko jednego otworu wlotowego wody o średnicy 0,8 mm,
- stwierdzono nieznaczny wpływ iglicy na rozkład wartości średnicy charakterystycznej $D(32)$,

- dysza z trzema otworami wlotowymi wody o średnicy 0,8 mm, w tym samym czasie, generowała taką samą powierzchnię absorpcyjną jak dysza z jednym otworem wlotowym wody o średnicy 0,8 mm, której zużycie wody było ok. $\sim 2 \div 2,5$ razy większe.

5. Podsumowanie

W efekcie prac konstrukcyjnych i badawczych w Instytucie KOMAG opracowano innowacyjne rozwiązanie dyszy samoczyszczącej umożliwiającej generowanie strumienia drobnokroplistego (poniżej 20 μm). Istotą rozwiązania jest przesuwana iglica otwierająca i zamykająca wylot z dyszy w celu jej zabezpieczenia przed wnikiem zanieczyszczeń z zewnątrz. Praca iglicy uzależniona jest od działania tłoczka sterowanego sprężonym powietrzem.

Podczas badań sprawdzono kilka wariantów wykonania dyszy, przeprowadzając pomiary rozkładu frakcyjnego kropeł. Kluczowym elementem do uzyskania drobnokroplistego strumienia było zastosowanie zmniejszonych powierzchni wlotowych wody.

Badania wykazały, iż opracowana dysza działa w poprawny sposób i umożliwia generowanie drobnokroplistego strumienia zraszającego. Wyniki badań analizowano pod kątem rozkładu frakcyjnego kropeł w wytwarzanym strumieniu. Jako główny parametr opisujący stopień rozdrobnienia kropeł generowanego strumienia przyjęto średnicę Sautera $D(32)$. Dodatkowo, opracowano i zaproponowano wprowadzenie parametru opisującego wywarzany strumień zraszający w formie powierzchni absorpcji wytwarzanych kropeł.

Prace badawczo-rozwojowe dotyczące drobnokroplistych dysz samoczyszczących będą kontynuowane pod kątem udoskonalenia rozwiązania oraz stworzeniu typoszeregu dysz. Zaproponowane parametry, opisujące powierzchnię absorpcji kropeł w generowanym strumieniu należy, zdaniem autorów, umieszczać w kartach katalogowych dysz, gdyż dostarczają one informacji o parametrach pracy dysz, a pośrednio o ich skuteczności redukcji zapylenia. Parametr ten, zdaniem autorów, będzie ułatwiał projektantom i użytkownikom systemów zraszających dobór odpowiedniego typu dyszy do projektowanej instalacji zraszającej.

Literatura:

- [1] Bałaga D., Jaszczuk M.: Wpływ parametrów strumienia zraszającego na redukcję zapylenia generowanego przez kombajn ścianowy. Prace Naukowe - Monografie KOMAG nr 47. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2016 s. 1-107. ISBN 9788360708934
- [2] Bałaga D., Jedziniak M., Kalita M., Siegmund M., Szkudlarek Z.: Metody i środki zwalczania zagrożeń pyłowych i metanowych w górnictwie węglowym. Maszyny Górnicze 2015 nr 3 s. 68-81
- [3] Bałaga D., Prostański D., Rojek P., Mentlik K., Wiśniarz D.: Wdrożenie instalacji zraszającej powietrzno wodnej kombajnu KSW 460NE w KWK PNIÓWEK w ścianie W 10. W: Materiały na konferencję: TUR 2007, V Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania 2007 "Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych", Kraków Krynica, wrzesień 2007 s. 247 257

- [4] Bałaga D., Siegmund M., Kalita M.: Powietrzno-wodny system redukcji zapylenia na instalacji podawania węgla w Elektrowni "Łagisza". W: Problemy eksploatacji i zarządzania w górnictwie. Redakcja naukowa: dr hab. inż. Krzysztof Kotwica, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2017 s. 27-36
- [5] Libera K., Puchała B., Prostański D., Bałaga D.: System powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w kombajnach chodnikowych produkcji REMAG-u. Maszyny Górnicze 2010 nr 2 s. 19-24
- [6] Prostański D.: Zraszanie powietrzno-wodne jako metoda ograniczenia zagrożenia zapłonem metanu i wybuchem pyłu węglowego oraz redukcji zapylenia powietrza. Prace Naukowe - Monografie KOMAG nr 51. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2017 s. 1-193. ISBN 9788365593078
- [7] Libera K., Puchała B., Prostański D., Bałaga D.: System powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w kombajnach chodnikowych produkcji REMAG-u. Maszyny Górnicze 2010 nr 2 s. 19-24
- [8] Orzechowski Z., Prywer J.: Rozpylanie cieczy. Wydawnictwo Naukowo Techniczne wyd. II, Warszawa 1991. ISBN 8320413788
- [9] Orzechowski Z., Prywer J.: Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy. Wydawnictwo Naukowo Techniczne. Warszawa 2008. ISBN 9788320434163
- [10] Zbrożek P., Prasula J.: Wpływ wielkości średnic kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie. Bezpieczeństwo i Technika pożarnicza, 2009 nr 3 s. 113-148
- [11] Rybka A., Modzelewski G., Talarek M.: Badania powietrzno-wodnych dysz zraszających. Sprawozdanie Laboratorium Badań Stosowanych Nr 247/BT/2017 (materiały niepublikowane)
- [12] Siegmund M.: Drobnokroplista, samoczyszcząca dysza powietrzno-wodna. Sprawozdanie z realizacji pracy statutowej EM-EM17-22485/OR. Gliwice 2017 (materiały niepublikowane)

Czy wiesz, że

...dobra koniunktura na rynku węgla napędza obroty firm zaplecza górniczego. Najbardziej liczący się gracz na polskim rynku – FAMUR – szykuje się do zagranicznej akwizycji. Jak wynika z prognoz firmy, największego krajowego producenta maszyn górniczych, w 2018 r. inwestycje firm wydobywczych w Polsce wzrosną do 4,5 mld zł i będą o 48% wyższe niż przed rokiem. Taki poziom nakładów ma się utrzymać co najmniej do 2020 r. Rosną także górnicze inwestycje w skali globalnej – średniorocznie o 6%, aż osiągną 176 mld dol. w 2021 r. Wzrost inwestycji w górnictwie już widać w wynikach dostawców maszyn i urządzeń dla kopalń. FAMUR w I połowie 2018 r. osiągnął ponad 1 mld zł przychodów, czyli dwa razy więcej niż rok temu. Poprawę wyników finansowych odczuwają też mniejsze spółki. Fabryka Sprzętu i Narzędzi Górniczych FASING wypracowała w I półroczu 107,4 mln zł (o 19% więcej niż w 2017 r.). Z kolei producent maszyn górniczych PATENTUS w I półroczu zanotował wzrost przychodów o 48% (do 54,1 mln zł), a także poprawę zysku netto o 57% (do 3,7 mln zł).

Rzeczpospolita 2018 27 września s. A 26