

*Tadeusz Szponder, Justyna Swolkień, Mariusz Kapusta**

ANALIZA AKTUALNIE STOSOWANYCH ŚRODKÓW PROFILAKTYCZNYCH DLA ZAGROŻENIA PYŁOWEGO**

1. Ogólna charakterystyka i analiza zagrożenia pyłowego

W kopalniach węgla wielu procesom technologicznym związanym z drążeniem wyrobisk korytarzowych, eksploatacją kopaliny, transportem urobku towarzyszy niepożądane zjawisko wytwarzania i emisji pyłu, co jest przyczyną zagrożenia pyłowego. Wytworzony pył unosi się w powietrzu kopalnianym, przemieszczając się z prądami powietrza, przy czym część pyłu osadza się na różnych powierzchniach np. spągu, ociosach, stropie, urządzeniach itp. tworząc tzw. osady pyłowe.

Pojęcie zagrożenia pyłowego zawiera w sobie dwa odmienne co do sposobu działania i skutków zagrożenia [1,2]:

- zagrożenie wybuchem pyłu węglowego,
- zagrożenie pyłami szkodliwymi dla zdrowia.

Pierwsze z zagrożeń związane jest z niebezpieczeństwem wybuchu pyłu węglowego, które najogólniej rzecz biorąc, zależy od charakterystyki pyłu, możliwości powstania obłoku pyłowego o określonych parametrach, oraz wystąpienia inicjału o energii zdolnej do zainicjowania wybuchu.

Drugie z zagrożeń polega na występowaniu w powietrzu kopalnianym pyłu, który jest szkodliwy dla zdrowia z uwagi na możliwość wystąpienia choroby zawodowej – pylicy płuc [3]. Te dwa zagrożenia określane wspólną nazwą „zagrożenie pyłowe” mają zarówno cechy wspólne jak i cechy zupełnie odmienne.

Do pierwszych z nich można zaliczyć:

- to samo źródło powodujące zagrożenie, czyli pył węglowy wytwarzany podczas procesów technologicznych,
- częściowo ta sama profilaktyka polegająca na ograniczaniu emisji pyłu w miejscach jego powstawania, np. poprzez stosowanie układów zraszających na kombajnach,

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH, Kraków.

** Artykuł powstał w ramach działalności statutowej nr 11.11.100.127.

przesypach odstawy urobku, stosowanie środków powierzchniowo-czynnych, czyli detergentów obniżających napięcie powierzchniowe wody stosowanej do zraszania, wykorzystywanie ładunków elektrycznych na ziarnach pyłu i kroplach wody w celu wzmocnienia mechanizmów koagulacji itp.

Spośród cech różniących te zagrożenia można wymienić między innymi:

- zupełnie odmienną ocenę niebezpieczeństwa pyłu w aspekcie zagrożenia wybuchem, a w aspekcie zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia. W pierwszym przypadku pyłem niebezpiecznym jest pył pochodzący z pokładu węgla zagrożonego wybuchem tj. takiego, w którym zawartość części lotnych w bezwodnej i bezpopiołowej substancji węglowej jest większa od 10%. W drugim przypadku o zagrożeniu pyłem decydują: stężenie ziaren pyłu w powietrzu dla frakcji całkowitej i respirabilnej, oraz zawartość procentowa wolnej krystalicznej krzemionki. W przypadku tego zagrożenia nader istotny jest czas narażenia pracujących górników na pyły szkodliwe przez okres pracy zawodowej;
- czas wystąpienia skutków zagrożenia: wybuch pyłu węglowego ma bardzo gwałtowny przebieg, powodując w bardzo krótkim czasie śmiertelne zagrożenie dla załogi, natomiast pylica płuc jako skutek zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia jest jednostką chorobową, która ujawnia się dopiero po wieloletniej ekspozycji na pył wynoszącej od 10÷15 lat;
- profilaktyka przeciwko zagrożeniu wybuchem pyłu węglowego ma charakter ochrony zbiorowej polegającej na ograniczaniu emisji pyłu w miejscach jego powstawania (wspólny element profilaktyki pyłowej), pozbawianiu pyłu lotności, utrzymywaniu stref zabezpieczających, stosowanie zapór przeciwwybuchowych.

W przypadku profilaktyki zwalczania zagrożeń pyłami szkodliwymi dla zdrowia oprócz ograniczania wielkości emisji w miejscach powstawania pyłu stosuje się również indywidualne ochrony dróg oddechowych, z których najczęściej stosowane są półmaski przeciwpyłowe jednorazowego użytku. W przypadku tego zagrożenia skuteczność prowadzonych działań profilaktycznych można ocenić, analizując ilość stwierdzonych przypadków pylic płuc, pamiętając że obecny stan zachorowalności świadczy o skuteczności profilaktyki ostatnich 10÷15 lat.

Podstawowym elementem profilaktyki zwalczania zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia jest profilaktyka polegająca na ograniczaniu zapylenia w miejscach jego powstawania.

Ta część profilaktyki realizowana jest między innymi poprzez [4]:

- stosowanie układów zraszających na kombajnach ścianowych oraz chodnikowych, w tym układów zraszania wewnętrznego,
- stosowanie odpylaczy w wyrobiskach korytarzowych przewietrzanych wentylacją odrębną,
- stosowanie detergentów obniżających napięcie powierzchniowe wody zasilającej układy zraszające w celu poprawienia skuteczności strącania pyłów z powietrza,
- stosowanie dysz zraszających na przenośnikach odstawy urobku,
- stosowanie przepłuczki wodnej przy wierceniu otworów strzałowych w skałach związanych wiertarkami udarowymi powietrznymi,

- stosowanie dodatkowych urządzeń zraszających na kombajnach,
- stosowaniu innych urządzeń, np. kurtyn wodnych w postaci mgły wodnej.

Równie ważnym elementem profilaktyki jest stosowanie przez pracowników środków ochrony indywidualnej dróg oddechowych. W kopalniach węgla kamiennego dobór odpowiednich klas środków ochrony indywidualnej dróg oddechowych realizowany jest w oparciu o wyniki pomiarów zapylenia powietrza frakcji całkowitej i respirabilnej, a także oznaczaniu procentowej zawartości wolnej krystalicznej krzemionki w pyłe. Kryterium doboru odpowiedniej klasy sprzętu filtrującego zawarte jest w § 679 ust. 2 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28.06.2002 r. W zdecydowanej większości przypadków zawartość wolnej krystalicznej krzemionki na podziemnych stanowiskach pracy zawiera się w granicach od 2 do 10%, gdzie odnotowano następujące przekroczenia NDS-ów dla pyłów szkodliwych dla zdrowia.

Krotności przekroczenia nds stwierdzone na stanowiskach pracy w ścianach (wg danych WUG [4])						
stanowisko pracy	frakcja całkowita			frakcja respirabilna		
	min	max	średnie	min	max	średnie
włot do ściany	0,09	3,78	0,91	0,30	3,85	1,23
kombajnista	0,28	14,60	2,40	0,65	7,90	2,86
sekcyjny	0,23	14,80	2,30	0,40	8,30	2,66
górną wnąka	0,30	14,93	2,31	0,50	8,25	2,53

krotności przekroczenia nds stwierdzone na stanowiskach pracy w przodkach (wg danych wug [4])						
stanowisko pracy	frakcja całkowita			frakcja respirabilna		
	min	max	średnie	min	max	średnie
kombajnista	0,11	9,00	1,71	0,28	16,10	2,54
pomocnik komb.	0,13	7,45	1,64	0,25	8,98	2,33

Z powyższego wynika że niezmiernie istotnym elementem profilaktyki mającym wpływ na poziom zapylenia podczas urabiania jest skuteczność układów zraszających, dlatego w dalszej części pracy przedstawiono metodę zmierzającą do znacznej poprawy zraszania, które jest bardzo istotnym elementem profilaktyki przeciwpyłowej.

2. Wprowadzenie do optymalizacji zraszania

Ziarna pyłu znajdujące się w powietrzu kopalnianym stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia pracujących górników z uwagi na swe kancerogenne i wybuchowe właściwości [1, 2, 3, 4]. Z tego też względu istotnym jest stosowanie wszelkich możliwych metod i środków prowadzących do minimalizacji tego zagrożenia. Najbardziej popularną i szeroko stosowaną metodą do zwalczania zapylenia powietrza kopalnianego jest metoda mokra, a ściślej wykorzystywanie rozpylonej wody do wytrącania ziaren pyłu unoszących się w powietrzu. Sposób ten realizowany jest przy pomocy dysz zraszających (zraszaczy), wodnych lub wodno-powietrznych, przy czym osiągnąć efekty nie zawsze są zadowalające, co wynika z niewłaściwego kształtowania się mikrostruktury rozpylonej strugi cieczy, jak również niewykorzystania szeregu zjawisk fizycznych zachodzących przy wzajemnym oddziaływaniu kropeł rozpylonej cieczy i ziaren pyłu.

W niniejszym artykule przedstawiono sposób postępowania, którego realizacja powinna doprowadzić do osiągnięcia maksymalnie możliwej efektywności strącania pyłów z powietrza kopalnianego.

3. Sposób zmierzający do osiągnięcia maksymalnie możliwej efektywności odpylania

3.1. Metoda określania najkorzystniejszych parametrów pracy dyszy zraszającej tzw. „optimum rozpylania”

Pod pojęciem tzw. „optimum rozpylania” został zdefiniowany taki stan mikrostruktury rozpylonej strugi cieczy $\{0\}$, przy którym osiąga się maksymalnie możliwą efektywność strącania pyłów, zarówno frakcji całkowitej jak i respirabilnej [5, 6, 7, 8]:

$$\eta = f\{0\}.$$

Stan rozpylenia charakteryzuje zbiór parametrów mikrostruktury rozpylonej strugi $\{0\}$ do których należą między innymi: wielkość i masa kropeł, ilość (stężenie) kropeł w jednostce objętości powietrza w strudze, prędkość kropeł w podstawowym odcinku strugi a zatem ich energia kinetyczna, napięcie powierzchniowe rozpylonej cieczy, ładunki elektryczne kropeł i wiele innych.

W literaturze [9, 10, 11, 12, 13] dotyczącej zagadnienia wpływu wielkości kropeł na efektywność strącania pyłów z powietrza brak jest jednoznacznego określenia najkorzystniejszych wielkości kropeł. Podawane przez w/w autorów wielkości kropeł zawarte są w bardzo szerokim przedziale średnic od 10 $[\mu\text{m}]$ do 800 $[\mu\text{m}]$. Próbę uściślenia optymalnej wielkości kropeł jako funkcji efektywności strącania pyłów z powietrza przedstawiono w pracach [14, 15] w których wykazano wyraźny wzrost efektywności strącania pyłów z powietrza przy wielkościach kropeł poniżej 150 $[\mu\text{m}]$. W zakresie badanych średnic przyjęto podział efektywny od 150 $[\mu\text{m}]$ do 50 $[\mu\text{m}]$.

Z wielkością kropeł wiąże się integralnie drugi parametr mikrostruktury rozpylonej strugi, którym jest ilość kropeł w jednostce objętości powietrza w strudze, czyli stężenie

kropel. Wielkość ta w istotny sposób wpływa na efektywność strącania pyłów z powietrza [14, 15, 16]. Parametrem wiążącym zarówno wielkość, jak i stężenie kropel jest powierzchnia kropel w jednostce objętości powietrza w strudze rozpylonej cieczy. Z prac [14, 15] wynika, że wzrost wielkości powierzchni kropel zawartych w jednostce objętości powietrza w strudze rozpylonej cieczy powoduje zwiększenie efektywności strącania pyłów z powietrza i może stanowić kryterium oceny danych dyszy zraszającej pod kątem zastosowania jej do odpylania powietrza w wyrobiskach górniczych. Należy pamiętać, że koagulacja ziaren pyłu i kropel wody zachodzi w wyniku wielu bardzo skomplikowanych mechanizmów, takich jak: inercyjny, zaczepienia, brownowski, elektrostatyczny, dyfuzjo-forezy itp. [17, 18, 19, 20, 21], przy czym mechanizmy te mają miejsce na granicy faz: ciało stałe–ciecz–gaz (pył–kropla–powietrze), gdzie stan energetyczny powierzchni międzofazowej i jej własności fizyko-chemiczne ma bardzo istotne znaczenie.

Niebagatelny zagadnieniem jest również trwałość powstałych agregatów (kropel wody–ziarna pyłu), które mogą ulegać wtórnemu rozpadowi [21], zmieniając dynamikę procesu koagulacji, a tym samym wpływając na efektywność wytrącania ziaren pyłu z powietrza.

Na podstawie prac [22, 23] stwierdzono, że kryterium efektywności wyrażone powierzchnią kropel zależną od ich wielkości i stężenia, należy odnosić do zakresu (stanu) stabilnej pracy dyszy, tj. bez widocznych zaburzeń strugi, dławienia, zmniejszania się skutecznej długości strugi, co odpowiada skutecznej długości zraszania. Każda dysza w pewnym zakresie parametrów zasilania posiada strugę stabilną [22], natomiast powyżej tego zakresu następuje destabilizacja jej pracy, co skutkuje zmniejszeniem efektywności strącania pyłów. W związku z powyższym niezbędne jest określenie kryterium efektywności strącania pyłów w fazie stabilnej pracy dyszy, uwzględniając tezę, że istnieje taka wartość strumienia objętości rozpylonej cieczy $Q_w = f(p_w)$ dla dyszy wodnej lub $Q_w = f(p_w, p_p)$ dla dyszy wodno-powietrznej, dla której $S_{k_0} = S_{k_{\max}}, (d_{n_k}, n_k)$, co powoduje, że $\eta_n = \eta_{\max}$.

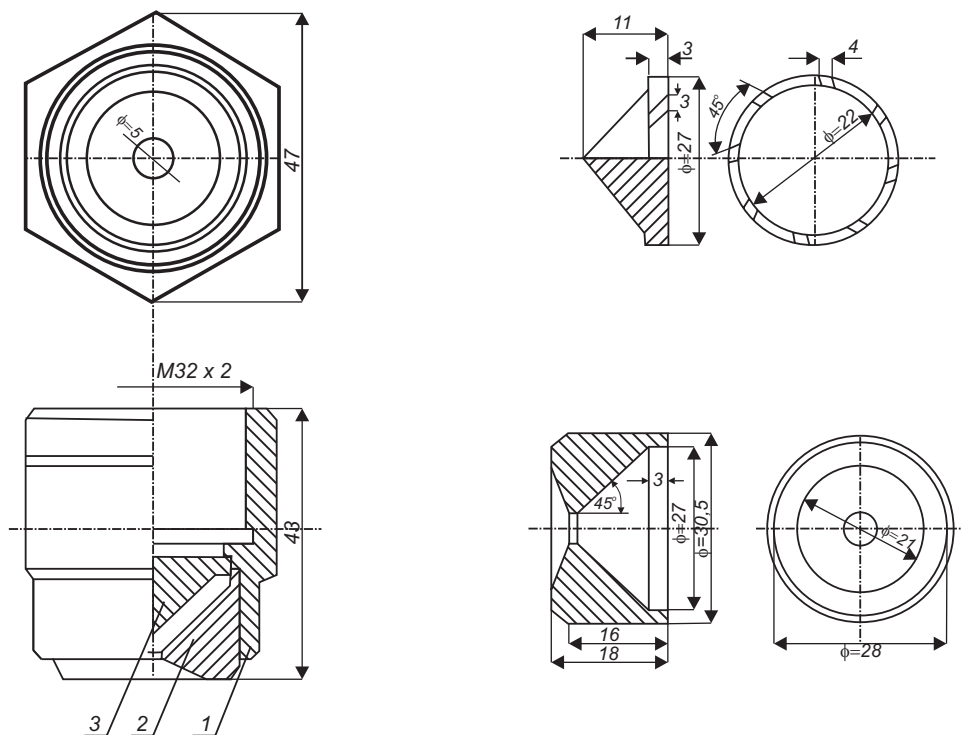
Można zatem tzw. „optimum rozpylania” dla danej dyszy zapisać w postaci wyrażenia:

$$Q_{w_0} = f(p_w) \vee f(p_w, p_p) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} n_{k_0} = f(p_{w_0} \vee p_{w_d}, p_{p_0}) \\ S_{k_0} = S_{k_{\max}} = f(p_{w_0}) \vee f(p_{w_0}, p_{p_0}) \\ d_{n_{k_0}} = f(p_{w_0}) \vee f(p_{w_0}, p_{p_0}) \end{array} \right\} \Rightarrow \eta_0 = \eta_{\max}$$

W celu sprawdzenia słuszności powyższego zapisu przeprowadzono badania mikrostruktury rozpylonej strugi wody oraz efektywności strącania pyłów z powietrza.

3.2. Dysze zraszające przeznaczone do badań

Do badań użyto dwóch dysz D-1 i D-2 przedstawione na rysunku 1 i 2, są to dysze wirowe dające strugę rozpyloną w kształcie stożka wypełnionego kroplami. Stosowanie dysz wirowych jest korzystne do strącania pyłów z powietrza, gdyż kropelki posiadają większą energię kinetyczną od kropel rozpylanych innymi dyszami [21], a prócz tego dysze wirowe dają równomierny rozkład cieczy w strudze [25, 26, 27], co w istotny sposób wpływa na skuteczność odpylania [14, 15].



Rys. 1. Dysza zraszająca wirowa D-1 wraz ze stożkiem i wkładką:
1 – korpus, 2 – wkładka, 3 – stożek

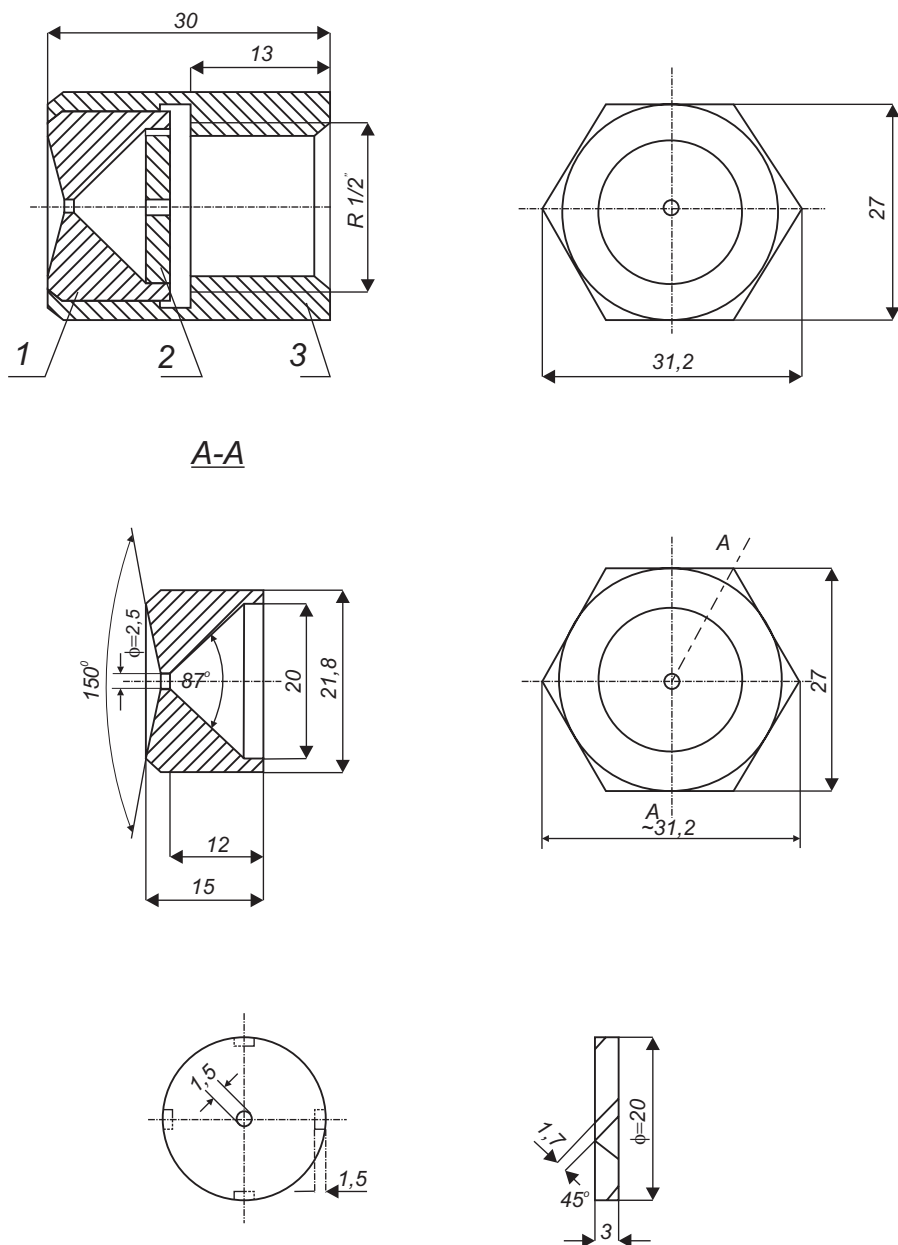
Pomiary przeprowadzono po ustabilizowaniu się ciśnienia wody na wlocie do rozpylacza. Pomiarów dokonano w punktach leżących symetrycznie po obu stronach osi rozpylania. Dla każdego z wyżej wymienionych położeń dokonywano pomiaru przy ciśnieniach zasilania od 0,2 do 1,6 MPa, co wynikało z charakterystyk hydraulicznych dysz.

3.3. Pomiary mikrostruktury rozpylonej strugi dla dysz D-1 i D-2

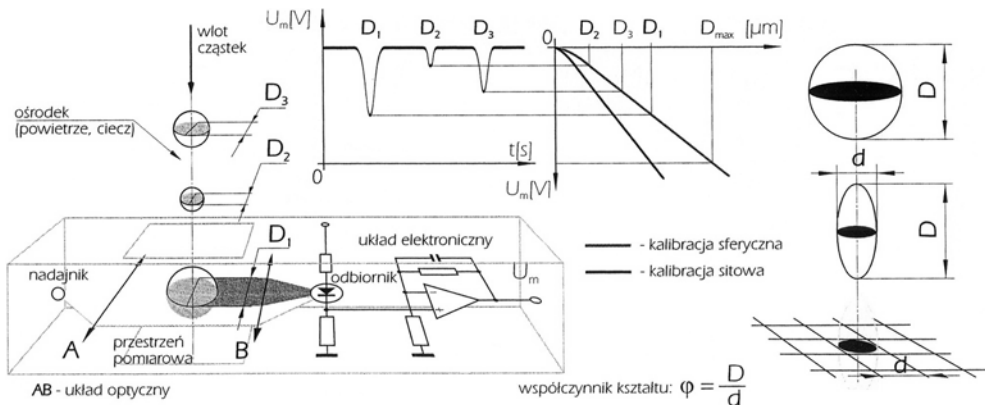
Do badań parametrów mikrostruktury rozpylonej strugi wykorzystano metodę fotoelektryczną z zastosowaniem analizatora widma kropeł IPS, który umożliwia wyznaczanie średnich średnic kropeł w przedziale od 10÷3000 μm . Przestrzeń pomiarowa sondy IPS (rys. 3) jest ukształtowana przez układ optyczny, do którego z nadajnika emitowane jest światło w zakresie podczerwieni.

Analizowane cząstki poruszające się w ośrodku powietrznym, wlatując w obszar przestrzeni pomiarowej, powodują, na skutek zjawiska rozproszenia osłabienie strumienia świetlnego odbieranego przez fotodiode. Miarą wielkości tego osłabienia jest, po przetworzeniu, amplituda sygnału elektrycznego uformowanego przez układ elektroniczny. Amplituda po kalibracji sferycznej lub sitowej wyraża średnicę kropli znajdującej się aktualnie w przestrzeni pomiarowej.

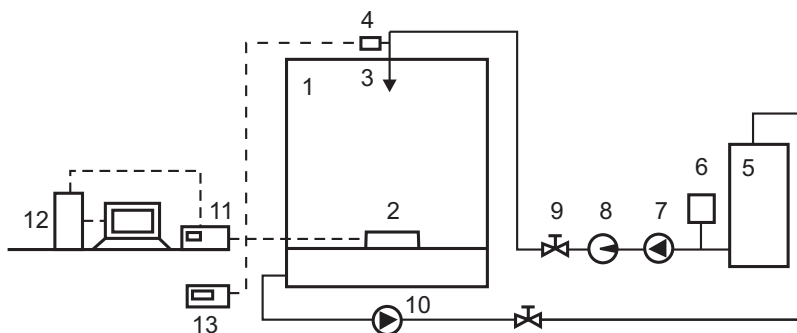
Schemat stanowiska do pomiarów parametrów pracy dysz zraszających przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 2. Dysza zraszająca typu D-2: 1 – wkładka, 2 – wkładka wirowa, 3 – korpus



Rys. 3. Zasada pomiaru wielkości kropli analizatorem widma kropli IPS



Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego do pomiarów parametrów pracy dysz: 1 – komora, 2 – sonda pomiarowa, 3 – dysza, 4 – czujnik ciśnienia, 5 – zbiornik hydroforowy, 6 – tłumik hydrauliczny, 7 – pompa zasilająca, 8 – przepływomierz, 9 – zawór, 10 – pompa odprowadzająca wodę, 11 – przetwornik, 12 – zestaw komputerowy, 13 – przetwornik ciśnienia z wyświetlaczem

Wyniki pomiarów hydraulicznych dysz D-1 i D-2 rozpylonej strugi przedstawiono w tabelach 1 i 2.

3.4. Pomiar efektywności strącania pyłów z powietrza

Pomiary efektywności strącania pyłów z powietrza wykonano na stanowisku pomiarowym przedstawionym na rysunku 5. Badaną dyszę umocowano w przewodzie o średnicy 0,75 m, ruch powietrza wywołano wentylatorem, pył węglowy o składzie frakcyjnym odpowiadającym pyłowi kopalnianemu wprowadzono do strumienia powietrza przy pomocy urządzenia dozującego (DP), prędkość przepływu powietrza mierzono rurką spiętrającą, zapylenie powietrza przed i za dyszą zraszającą przy pomocy sond pyłowych izokinetycznych (SP1-3), dopływ medium zraszającego realizowano przy pomocy układu zasilającego ze stosownym osprzętem pomiarowym.

TABELA 1

Wyniki pomiarów parametrów hydraulicznych i mikrostruktury rozpylonej strugi dla dyszy DW-1

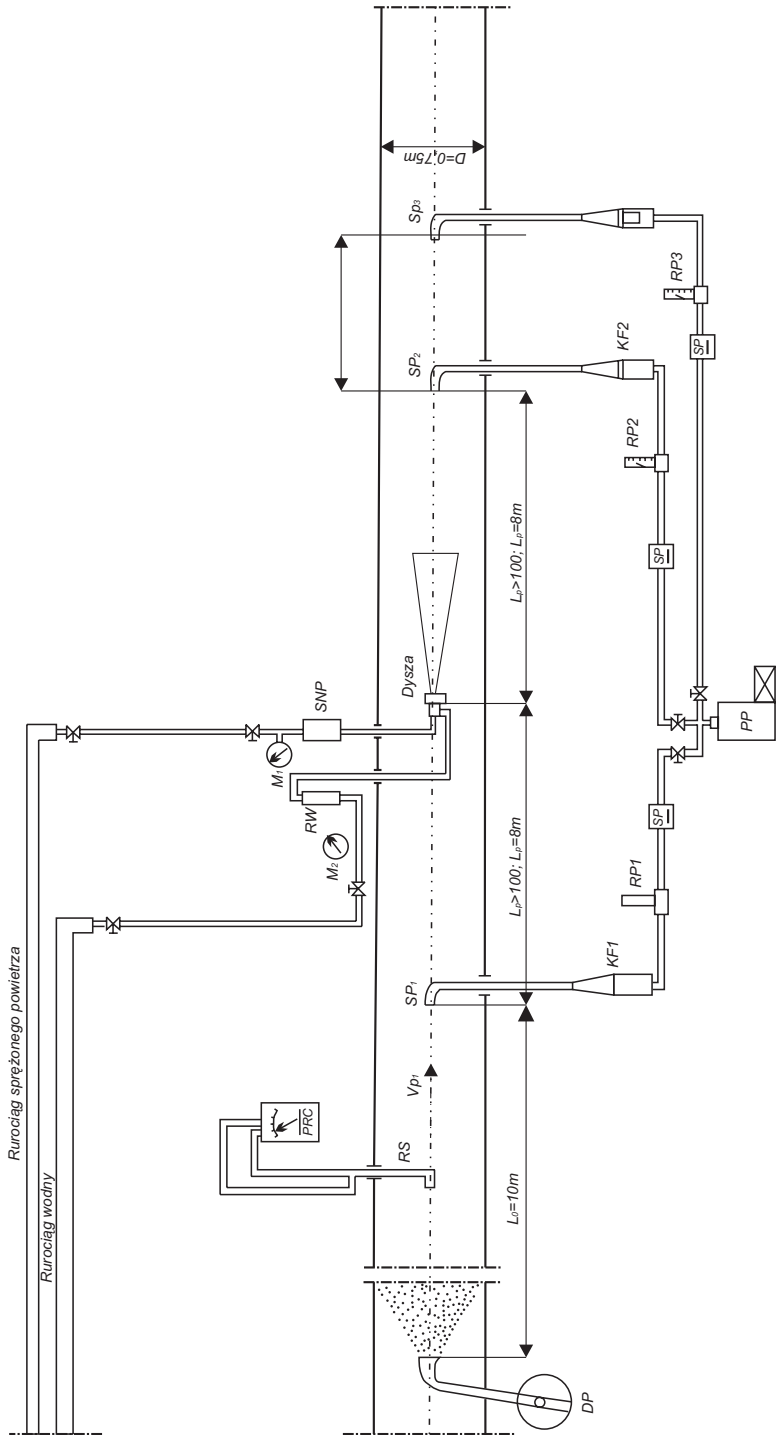
Lp.	P_w [MPa]	Q_w [dm ³ /min]	d_{nk} [mm]	n_k [szt./cm ³]	S_k [mm ²]
1.	0,2	2,2	217	23	34,9
2.	0,4	3,4	183	67	70,5
3.	0,6	4,4	140	134	82,5
4.	0,8	5,1	117	593	254,9
5.	1,0	5,6	92	1353	359,6
6.	1,2	5,9	77	2052	382,0
7.	1,4	6,2	70	1380	212,3
8.	1,6	6,3	59	1220	133,4

TABELA 2

Wyniki pomiarów parametrów hydraulicznych i mikrostruktury rozpylonej strugi dla dyszy DW-2

Lp.	P_w [MPa]	Q_w [dm ³ /min]	d_{nk} [mm]	n_k [szt./cm ³]	S_k [mm ²]
1.	0,20	0,61	188	42	46,6
2.	0,40	0,90	147	98	66,5
3.	0,60	1,17	114	210	85,7
4.	0,80	1,40	90	639	162,5
5.	1,00	1,57	63	1420	176,9
6.	1,20	1,68	51	1680	132,3
7.	1,40	1,78	40	1753	88,1
8.	1,60	1,80	36	1700	69,2

Mając na uwadze wywody przedstawione w podrozdz. 2.1 wykonano pomiary zapyle-
 nia powietrza i obliczono efektywność strącania pyłów z powietrza dyszami D-1 i D-2
 przy różnych wartościach strumienia objętości rozpylonej cieczy Q_w i ciśnieniach zasila-
 nia dysz wynikających z charakterystyk $Q_w = f(p_w)$.



Rys. 5. Schemat stanowiska do pomiarów efektywności strącania pyłów z powietrza: DP – dozownik pyłu, SP – sondy pyłowe, KF – komory filtrów, RS – rurka spiętrząjąca, PP – pompa próżniowa

Efektywność całkowitą strącania pyłów z powietrza obliczono z zależności:

$$\eta_{ic} = \left(1 - \frac{Z_{ick}}{Z_{icp}} \right) \cdot 100 [\%].$$

Efektywność strącania pyłów frakcji respirabilnej obliczono z zależności:

$$\eta_{ic} = \left(1 - \frac{Z_{ikresp}}{Z_{ipresp}} \right) \cdot 100 [\%].$$

Wyniki pomiarów zestawiono w tabelach 3 i 4, natomiast interpretację graficzną przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

TABELA 3

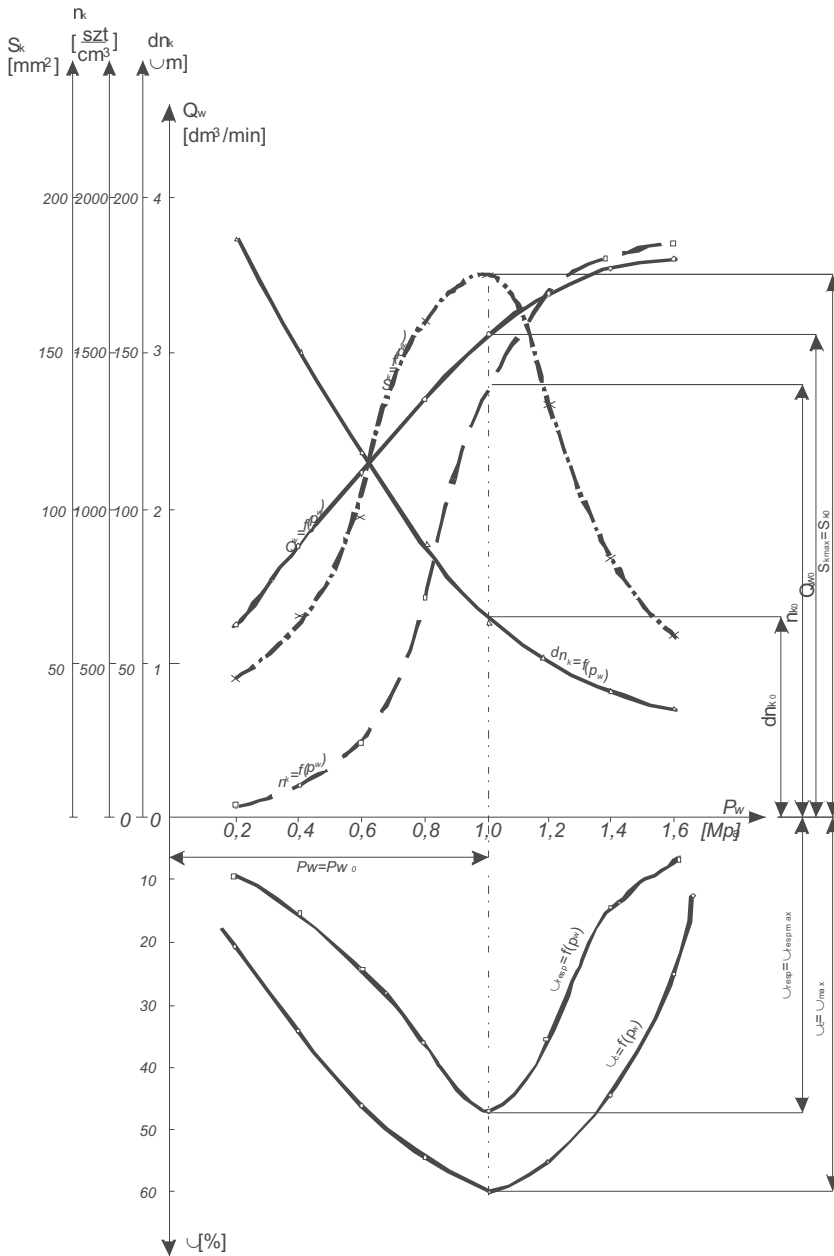
Wyniki pomiarów efektywności strącania pyłów z powietrza dyszą D-1, przy różnych parametrach zasilania

Lp.	Z_{cp} [mg/m ³]	Z_{ck} [mg/m ³]	h_c [%]	Z_{presp} [mg/m ³]	Z_{kresp} [mg/m ³]	h_{resp} [%]
1.	49,1	44,0	10,4	13,1	12,8	2,5
2.	46,3	36,8	20,5	14,4	13,7	5,0
3.	47,7	32,7	31,5	10,3	9,2	10,6
4.	62,7	36,1	42,4	10,9	8,7	20,0
5.	57,3	29,6	46,3	12,0	7,4	36,1
6.	44,5	21,1	59,6	11,5	6,1	46,8
7.	41,8	24,3	41,8	11,6	8,1	30,2
8.	42,5	31,8	25,1	13,9	12,5	10,4

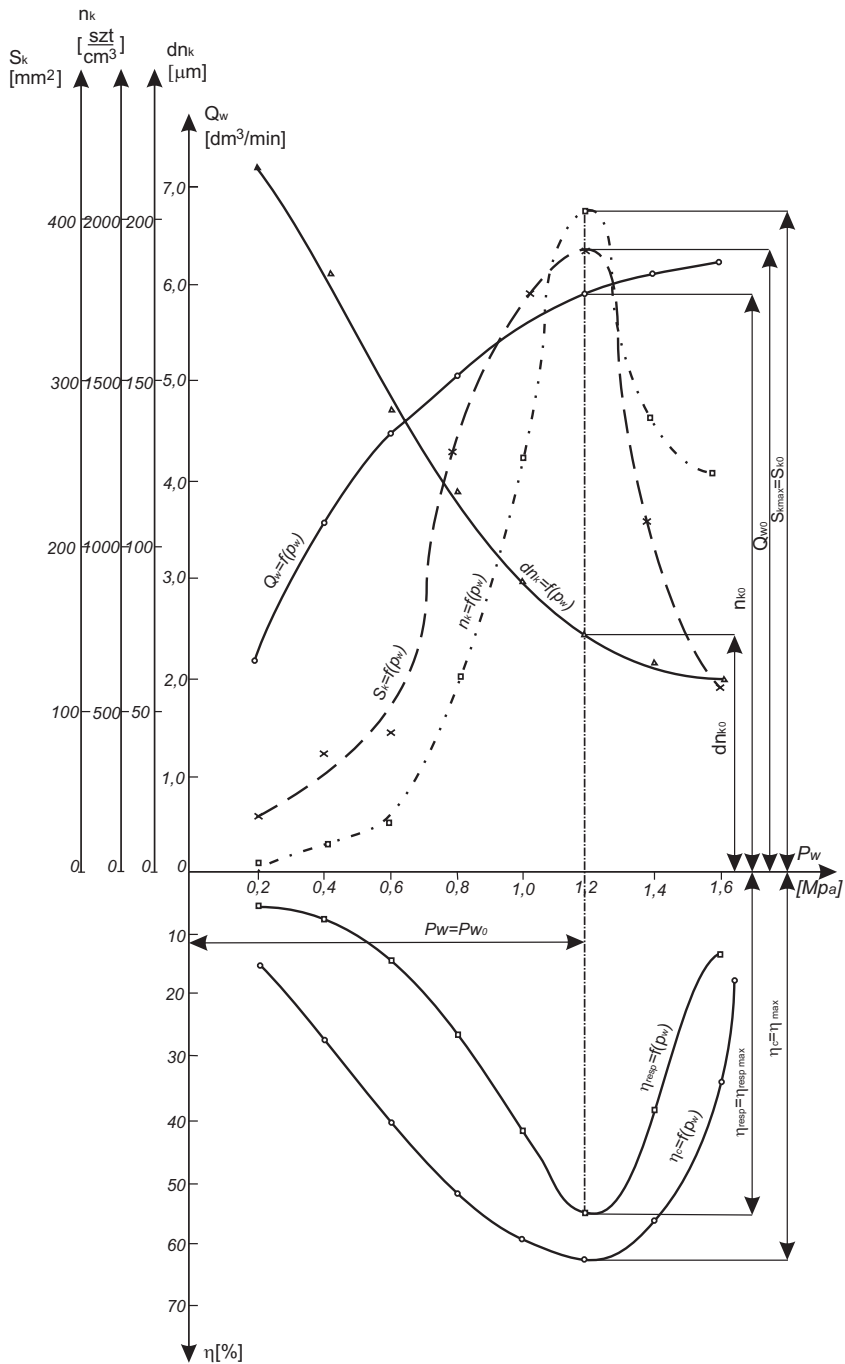
TABELA 4

Wyniki pomiarów efektywności strącania pyłów z powietrza dyszą D-2, przy różnych parametrach zasilania

Lp.	Z_{cp} [mg/m ³]	Z_{ck} [mg/m ³]	h_c [%]	Z_{presp} [mg/m ³]	Z_{kresp} [mg/m ³]	h_{resp} [%]
1.	50,4	39,7	21,2	12,7	11,4	10,1
2.	56,0	37,8	32,5	10,5	8,9	15,0
3.	47,3	26,8	43,1	11,3	8,8	22,1
4.	42,8	24,9	47,3	9,7	6,7	30,8
5.	50,4	24,8	50,6	9,1	5,4	40,3
6.	49,7	26,2	47,2	10,5	8,2	27,8
7.	42,6	26,7	37,4	11,4	9,2	19,2
8.	56,8	46,1	18,9	8,6	7,9	8,4



Rys. 6. Charakterystyki parametrów mikrostruktury rozpylonej strugi oraz efektywności strącania pyłów dla dyszy D-1



Rys. 7. Charakterystyki parametrów mikrostruktury rozpylonej strugi oraz efektywności strącania pyłów dla dyszy D-2

4. Analiza wyników badań i wnioski

1. Wykonane badania charakterystyk dysz zraszających obejmują parametry hydrodynamiczne, takie jak: zakres ciśnień roboczych (z uwzględnieniem ciśnienia krytycznego dysz), strumień objętości rozpylonej strugi, oraz rozkład opadu cieczy na powierzchnię zraszania. Bardzo istotnymi parametrami rozpylonej strugi są wielkości kropeł i ich stężenie w jednostce objętości powietrza w strudze. Istotną grupę czynników wpływającą na pracę dyszy stanowią jej parametry geometryczne do których należą kształt rozpylonej strugi, kąt rozwarcia strugi, skuteczny zasięg strugi i wielkość powierzchni zraszania.
2. Przeprowadzone uprzednio rozważania dotyczące parametrów dynamicznych kropeł rozpylonej cieczy i ich wpływu na zjawisko wytrącania pyłów ze strumienia powietrza zapyłonego pozwoliły na stwierdzenie, że efektywność wytrącania pyłów zależy od czynników mikrostruktury rozpylonej strugi, tj. wielkości kropeł i ich stężenia w jednostce objętości strugi.
3. Parametrem wiążącym zarówno wielkość kropeł rozpylanej cieczy, jak i ich stężenie jest powierzchnia kropeł zawartych w jednostce objętości powietrza w rozpylonej strudze cieczy. W pewnym zakresie pracy dysz zraszających (ustalonym na drodze eksperymentalnej), tzn. ciśnienia zasilania p_w (wody), lub p_w i p_p (ciśnienie wody i powietrza), istnieje taka wartość strumienia objętości strugi Q_{w0} , przy której występuje maksymalna wartość efektywności strącania pyłów z powietrza $\eta_0 = \eta_{\max}$. Można zatem tzw. „optimum rozpylania” danej dyszy zapisać w postaci wyrażenia:

$$Q_{w0} = f(p_w) \vee f(p_w, p_p) \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} n_{k0} = f(p_{w0} \vee p_{wd}, p_{p0}) \\ S_{k0} = S_{k\max} = f(p_{w0}) \vee f(p_{w0}, p_{p0}) \\ d_{nk0} = f(p_{w0}) \vee f(p_{w0}, p_{p0}) \end{array} \right\} \Rightarrow \eta_0 = \eta_{\max}$$

4. Określenie „optimum rozpylania” wymaga żmudnych badań i zastosowania specjalistycznej aparatury pomiarowej, jak również wysokiej klasy oprogramowania, niemniej użytkownik uzyskuje odpowiedź na fundamentalne pytanie, jakie powinny być parametry pracy dyszy zraszającej, by uzyskać maksymalnie możliwą efektywność strącania pyłów z powietrza kopalnianego.
5. Przedstawiona wyżej metoda strącania pyłów z powietrza kopalnianego u źródeł powstawania obłoku pyłowego, tzn. w przodkach chodnikowych i ścianowych, może w istotny sposób przyczynić się do znaczącego obniżenia poziomu zapylenia, a tym samym do znaczącego zmniejszenia zagrożenia pyłem szkodliwym dla zdrowia. Metoda ta jest swoistym „novum”, jednak warunkiem powodzenia jest ściśle przestrzeganie określonych na podstawie uprzednio przeprowadzonych badań reżimów pracy dysz przeznaczonych do strącania pyłów z powietrza kopalnianego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Lebecki K.*: Zagrożenie pyłowe w górnictwie. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2004

- [2] *Cybulski K.*: Zagrożenie wybuchem pyłu węglowego oraz ocena skuteczności działań profilaktycznych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnicztwa, Nr 864, Katowice, 2005
- [3] *Marek K.*: Choroby zawodowe. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 2003
- [4] *WUG.*: Zwalczanie zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia w kopalniach węgla kamiennego. Katowice, 2007
- [5] *Szponder T.*: Efektywność strącania pyłów z powietrza kopalnianego kroplami wody rozpylonej dyszą elektrostatyczną. Praca doktorska, AGH, 1984
- [6] *Szponder T., Kwiecień Z.*: Kryterium rozpylania wody dyszami zraszającymi do strącania pyłów z powietrza kopalnianego. Sympozjum Naukowe nt. Zwalczanie zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia. Leszczyny, 1985
- [7] *Szponder T., Kwiecień Z.*: Próba określenia kryterium optymalnego rozpylania wody dyszami zraszającymi do strącania pyłów z powietrza kopalnianego. Sympozjum Naukowe nt. Zwalczanie zagrożenia pyłowego w kopalniach węgla. Wałbrzych 1986
- [8] *Szponder T.*: Określenie kryterium optymalnych parametrów pracy dysz zraszających do strącania pyłów z powietrza kopalnianego. *Górnictwo i Geoinżynieria*. Rok 30. Zeszyt 3. 2006
- [9] *Green H., Lane W.*: Particulate clouds dust, smokes and mists. *Izd. Chimija*, 1969r. (tłum. na j. rosyjski)
- [10] *Jankowski B.*: Wasserdüsen und ihre Einsatzmöglichkeist zur Staubbekämpfung im Bergbau. *Bergakademie* 15 Feft 10-1963
- [11] *Köker Ch.F.*: Untersuchungen über die Grundlagen das Antistaub-Verfahrens. *Glückauf* nr 13, 1963
- [12] *Barth W.*: Grundlegende Untersuchungen über die Rienigungsleistung von Wassertropfen. *Staub* 19, nr 5, 1959
- [13] *Weber E.*: Zdolność oczyszczania kropli wody w przypadku gazu wielkopiecowego. *Diss. T.H. Karlsruhe*, 1967 (tłum. z j. niemieckiego)
- [14] *Kwiecień Z.*: Strącanie pyłu z powietrza kopalnianego za pomocą wodnej dyszy zraszającej w świetle badań laboratoryjnych. Praca doktorska, AGH, 1973
- [15] *Zacharzewski J., Kwiecień Z.*: Kryterium efektywności strącania pyłów z powietrza kopalnianego kroplami rozpylonej wody. Sympozjum Naukowe nt. Zwalczanie zapylenia powietrza kopalnianego. Katowice, 1974
- [16] *Kiekin A.A.*: Ob. ustanowleniji optimalnowo razmiera kapiel pri gidroabiespiliwaniju. *Wientilacija i borba s pylju*. 1969
- [17] *Fuks N.A.*: *Miechanika aerologii*. Moskwa, 1955
- [18] *Zimon A.D.*: *Adgiezija pyli i poroszkow*. *Izd. Chimija*, Moskwa, 1976
- [19] *Koch R., Noworyta A.*: *Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej*. WNT, Warszawa, 1998
- [20] *Warych J.*: *Odpylanie gazów metodami mokrymi*. WNT, Warszawa, 2000
- [21] *Orzechowski Z., Prywer J.*: *Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy*. WNT, Warszawa, 2008
- [22] *Witman Ł.A., Kacnielson B.D., Palejew J.J.*: *Raspyliwanije židkosti forsunkami*. *Gosenergoizolat*, Moskwa, 1962
- [23] *Nielepkiewicz J.*: *Badanie charakterystyk rozpylaczy*. *Prace Instytutu Lotnictwa*, Warszawa, 1989
- [24] *Kamiński S.*: *Analizator widma kropeł (AWK), system KμK*, Warszawa, 1999
- [25] *Galaj J., Kieliszek S.*: *Badanie wpływu niektórych parametrów geometrycznych dyszy na parametry strumienia rozpylonego*. *Prace Naukowe Politechniki Radomskiej*, Warszawa, 2004
- [26] *Kolman R.*: *Badanie wpływu wybranych parametrów geometrycznych dyszy i ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego*. *Prace Naukowe SGSP*, Warszawa, 2004
- [27] *Zielińska A.*: *Badanie rozkładu kropeł w strumieniu rozpylonym*. *Prace Naukowe SGSP*, Warszawa, 2004