

ZRASZANIE POWIETRZNO-WODNE
JAKO METODA OGRANICZENIA ZAGROŻENIA
ZAPŁONEM METANU I WYBUCHEM
PYŁU WĘGLOWEGO ORAZ REDUKCJI
ZAPYLENIA POWIETRZA

Dariusz Prostański

**Zraszanie powietrzno-wodne jako metoda
ograniczenia zagrożenia zapłonem metanu
i wybuchem pyłu węglowego oraz redukcji
zapylenia powietrza**

Autor:

dr inż. Dariusz Prostański - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Recenzenci:

dr hab. inż. Krzysztof Kotwica – Akademia Górniczo-Hutnicza im.
Stanisława Staszica

prof. dr hab. inż. Adam Klich - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

prof. dr hab. Kazimierz Lebecki - Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną
Pracy w Katowicach

Redaktor techniczny:

mgr inż. Romana Zajac

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę

Copyright by

Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2017

Wydawca:

*Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice*

ISBN 978-83-65593-07-8

Spis treści

	str.
1. Wstęp	1
2. Analiza stanu wiedzy w zakresie procesu łączenia cząstek pyłu z kroplami wody	9
2.1. Proces łączenia się kropeł wody i cząstek pyłu	9
2.2. Wpływ parametrów dysz wodnych na skuteczność łączenia cząstek pyłu z kroplami wody	17
2.3. Możliwości redukcji zapylenia w kopalniach węgla	21
2.4. Przegląd systemów zraszania w górnictwie	27
3. Nowe podejście ITG KOMAG do zagadnień zraszania	35
4. Rozwiązania powietrzno-wodnych dysz zraszających	39
5. Rozwiązania powietrzno-wodnych instalacji zraszających kombajnów ścianowych	55
6. Rozwiązania instalacji zraszających do kombajnów chodnikowych	86
7. Rozwiązania urządzeń zraszających przeznaczonych do stosowania w chodnikach	96
8. System KOMAG do zraszania w zmechanizowanych ścianach węglowych	120
9. Wykorzystanie zraszania powietrzno-wodnego do ograniczania wybuchu pyłu węglowego	133
10. Podsumowanie	174
Literatura	178
Streszczenie	192
Abstract	193

1. Wstęp

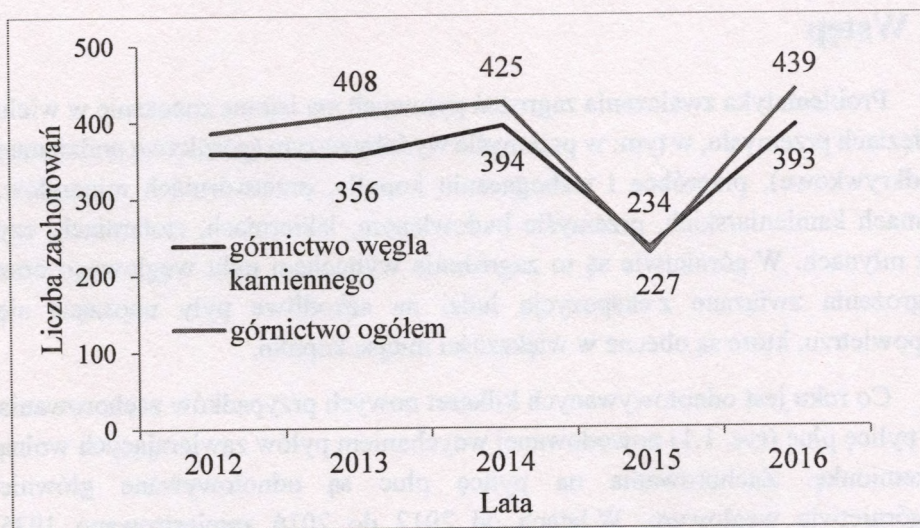
Problematyka zwalczania zagrożeń pyłowych ma istotne znaczenie w wielu gałęziach przemysłu, w tym: w przemyśle wydobywczym (górnictwo podziemne i odkrywkowe), przeróbce i wzbogacaniu kopalin, przetwórnictwie minerałów, firmach kamieniarskich, przemyśle budowlanym, lakierniach, stolarniach, czy też młynach. W górnictwie są to zagrożenia wybuchem pyłu węglowego oraz zagrożenia związane z ekspozycją ludzi na szkodliwe pyły unoszące się w powietrzu, które są obecne w większości miejsc kopalni.

Co roku jest odnotowywanych kilkaset nowych przypadków zachorowania na pylicę płuc (rys. 1.1) powodowanej wdychaniem pyłów zawierających wolną krzemionkę. Zachorowania na pylicę płuc są odnotowywane głównie w górnictwie węglowym. W latach od 2012 do 2016 zarejestrowano 1935 nowych pacjentów z pylicą płuc w górnictwie, z czego blisko 90% przypada na górnictwo węglowe. W ostatnich latach najmniejszy poziom zachorowalności odnotowano w 2015 roku, zarówno w górnictwie ogółem, jak i w górnictwie węglowym. W 2016 roku nastąpił powrót do średniej liczby zachorowań zarejestrowanych w poprzednich latach [94].

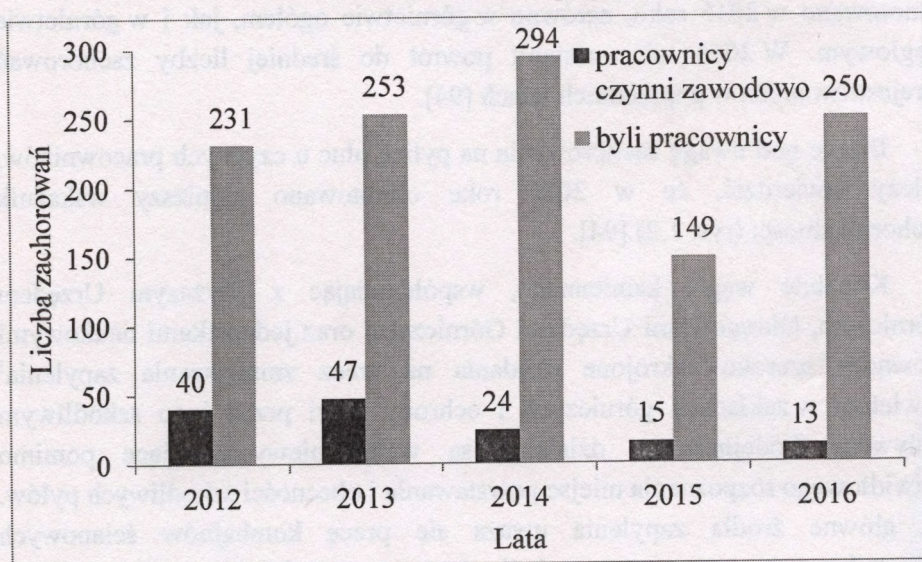
Biorąc pod uwagę zachorowania na pylicę płuc u czynnych pracowników, należy stwierdzić, że w 2016 roku odnotowano najniższy wskaźnik zachorowalności (rys. 1.2) [94].

Kopalnie węgla kamiennego, współdziałając z Wyższym Urzędem Górniczym, Okręgowymi Urzędami Górniczymi oraz jednostkami naukowymi prowadzą szeroko zakrojone działania na rzecz zmniejszenia zapylenia¹ powietrza w zakładach górniczych i ochrony ludzi przed jego szkodliwym wpływem. Podejmowane działania są wciąż niewystarczające pomimo prawidłowego rozpoznania miejsc powstawania i obecności szkodliwych pyłów. Za główne źródła zapylenia uważa się pracę kombajnów ścianowych i chodnikowych, przesuwanie sekcji obudowy zmechanizowanej, kruszarki, przesypy przenośników taśmowych, wiercenie i ładowanie w przodkach chodnikowych, tamy wentylacyjne oraz załadunek wozów kopalnianych [80].

¹ Terminem *zapylenie* autor określa *stężenie pyłu w powietrzu*.



Rys. 1.1. Liczba stwierdzonych chorób zawodowych w górnictwie w latach 2012-2016 [94]



Rys. 1.2. Liczba stwierdzonych przypadków pylicy u czynnych zawodowo i byłych pracowników czynnych kopalń węgla kamiennego w latach 2012-2016 [94]

Służby kopalniane odpowiedzialne za utrzymanie bezpieczeństwa mają za zadanie utrzymywanie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pracy w zakładzie górniczym. Przepisy [83] stanowią, że kierownik ruchu zakładu górniczego jest odpowiedzialny za stan zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i stosowane metody i środki do jego zwalczania.

Podstawowymi środkami zaradczymi, które ograniczają zapylenie w kopalniach, są instalacje zraszające kombajnów ścianowych i chodnikowych. Choć są obowiązkowo stosowane we wszystkich maszynach urabiających, rzadko umożliwiają redukcję zapylenia do wartości nieprzekraczających najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS). Instalacje zraszające kombajnów służą również do ograniczenia niebezpieczeństwa zapłonu metanu w procesie urabiania. W przodkach chodnikowych dodatkowo jest obowiązek stosowania odpylaczy, które mają bardzo dużą skuteczność eliminowania zapylenia, jednak poza przodkiem istnieje duży problem z zapyleniem powietrza. Również instalacje zraszające zainstalowane na środkach odstawy przenośnikowej i na przesypach charakteryzują się bardzo niską skutecznością redukcji zapylenia. Wodne, niskociśnieniowe instalacje zraszające, zasilane bezpośrednio z rurociągów p.poż uzyskują niewielki stopień rozpylenia wody przez dysze przy wydatku wody rzędu $10 \text{ dm}^3/\text{min}$. Często utrudniają funkcjonowanie pracowników w okolicy przesypów, co skutkuje ich celowym wyłączaniem. Pył kopalniany wzniecony w wyniku różnych procesów, jest przenoszony przez powietrze kopalniane aż do szybu, powodując obniżenie komfortu pracy, ekspozycję pracowników na szkodliwy pył oraz tworząc nagromadzenia niebezpiecznego pyłu węglowego o właściwościach wybuchowych. Innym sposobem ochrony ludzi narażonych na szkodliwy pył jest stosowanie środków ochrony indywidualnej. Kopalnie wymagają obowiązkowego stosowania półmasek przeciwpyłowych w rejonach z zapyleniem przekraczającym wartości NDS.

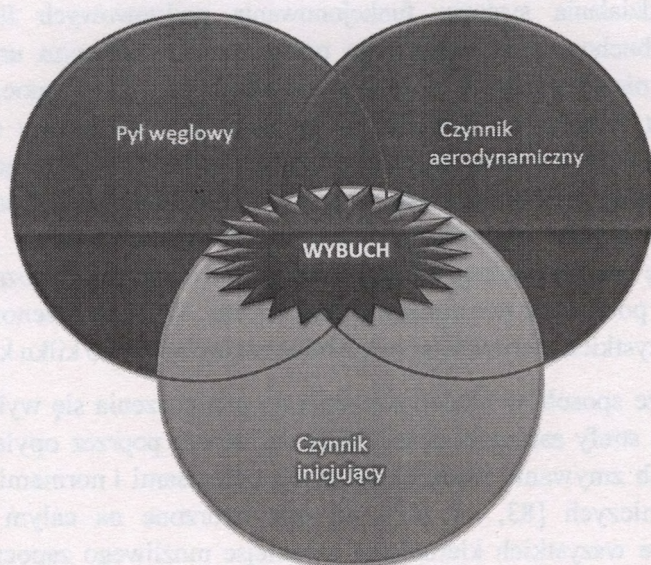
W ostatnich latach coraz szersze zastosowanie w redukcji zapylenia, w górnictwie węgla kamiennego, znajdują systemy zraszania powietrzno-wodnego, wykorzystujące ciśnienie sprężonego powietrza do wytworzenia mieszaniny i rozpylenia strumienia wody do kropeł o bardzo małych średnicach. Ten typ zraszania charakteryzuje się dużą skutecznością redukcji zapylenia.

Jednym z głównych liderów takiego podejścia jest Instytut Techniki Górniczej KOMAG, gdzie zaprojektowano większość rozwiązań powietrzno-wodnych instalacji zraszających funkcjonujących w polskim górnictwie. Rozwiązania te poparte licznymi pracami koncepcyjnymi i badaniami, często były realizowane przy wsparciu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz projektów europejskich w ramach RFCS (*Research Fund for Coal and Steel*).

Zagrożenie pyłowe ma, oprócz zagrożenia działaniem pyłów szkodliwych dla zdrowia, istotne znaczenie jako zagrożenie wybuchem pyłu węglowego. Powszechność tego zagrożenia obejmuje swoim zasięgiem większość wyrobisk górniczych. Pył węglowy w kopalni jest wytwarzany w ilości 1÷3% dobowego wydobywania i powstaje w wyniku kolejnych procesów technologicznych poczynając od urabiania poprzez ładowanie i transport. Wzrost koncentracji wydobywania węgla mocno związany jest z dynamicznym wzrostem intensywności emisji pyłu węglowego. Ściany wydobywcze, przodki węglowe, trasy odstawy, rejonys przesypów i wysypów taśmowych oraz wyrobiska przyległe do zbiorników węgla należą do rejonów, w których występuje najwyższy poziom zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

Wybuch pyłu węglowego jest procesem gwałtownego spalania ziaren węgla, wywołującym wzrost temperatury i ciśnienia, który może wystąpić jedynie w przypadku jednoczesnego (rys. 1.3):

- zalegania w wyrobisku górnicyz niebezpiecznego pyłu węglowego w ilości zawartej pomiędzy dolną i górną granicą jego wybuchowości, w atmosferze zawierającej powyżej 16% tlenu,
- wystąpienia czynnika powodującego dynamiczne uniesienie pyłu węglowego i utworzenie obłoku pyłowo-powietrznego o stężeniu wybuchowym,
- wystąpienia inicjału mogącego zapalić pył węglowy.



Rys. 1.3. Model wybuchu pyłu węglowego [82]

Ograniczenie prawdopodobieństwa wystąpienia tych trzech elementów stwarzających okoliczności powstania wybuchu mieści się w ramach pyłowej profilaktyki przeciwwybuchowej, w ramach której określono linie obrony przeciwko wybuchom pyłu węglowego. Tworzą one system umożliwiający bezpieczne funkcjonowanie zakładu górniczego w aspekcie wybuchu pyłu węglowego, z których podstawowe elementy to:

- ograniczanie powstawania pyłu węglowego, jego usuwanie oraz ograniczanie lotności pyłu,
- zwalczanie możliwości zapoczątkowania wybuchu poprzez redukcję możliwości zapłonu obłoku pyłowo-powietrznego,
- przeciwdziałanie rozwojowi wybuchu pyłu węglowego poprzez utrzymywanie stref zabezpieczających,
- ograniczanie zasięgu wybuchu poprzez stosowanie zapór przeciwwybuchowych.

Zasada działania systemu funkcjonowania podstawowych linii obrony przeciwko wybuchom pyłu węglowego polega na ich kolejnym uruchamianiu w przypadku nieskutecznego działania poprzednich. Do zapoczątkowania wybuchu pyłu węglowego dochodzi w sytuacji, gdy wzniecony obłok pyłu węglowego zostanie zapalony w efekcie zapłonu metanu. Zapłon metanu może być spowodowany np. przez iskrę w procesie urabiania skał. Spalanie pyłu węglowego w obłoku pyłowo-powietrznym powoduje bardzo gwałtowne wydzielanie się energii cieplnej, co doprowadza do dynamicznego rozprężania się i wytworzenia podmuchu tworzącego obłoki wtórne. Wybuch przenosi się w ten sposób we wszystkich kierunkach i może mieć zasięg nawet do kilku kilometrów.

Jednym ze sposobów niedopuszczenia do przenoszenia się wybuchu pyłu węglowego są strefy zabezpieczające, które się tworzy poprzez opylanie pyłem kamiennym lub zmywanie wodą określonych przepisami i normami odcinków wyrobisk górniczych [83, 46, 47]. Są one tworzone na całym obwodzie wyrobiska i we wszystkich kierunkach od miejsc możliwego zapoczątkowania wybuchu pyłu węglowego. Skuteczność ograniczenia lub zatrzymania wybuchu będzie zależała od jakości wykonania stref zabezpieczających przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego.

Woda to tani i łatwo dostępny środek gaszący i neutralizujący pył węglowy w kopalniach węgla. Ograniczenie wybuchowości pyłu węglowego poprzez działanie wody polega głównie na obniżeniu i pozbawieniu lotności pyłu (ograniczanie możliwości powstawania obłoków pyłowych) oraz odbieraniu ciepła płomieniowi wybuchu. Woda w pyłowej profilaktyce przeciwwybuchowej ma również duże znaczenie w zapobieganiu zainicjowania wybuchu poprzez odbieranie ciepła płomieniowi inicjału (głównie iskrom powstającym w procesie urabiania).

Pozbawienie pyłu lotności to jedno z głównych zadań pyłowej profilaktyki przeciwwybuchowej. Procentowa zawartość wody w pyłach pozwala wyróżnić dwa stany utraty lotności: pierwszy to brak zdolności do unoszenia się w przepływającym prądzie powietrza, a drugi to pył z zawartością wody uniemożliwiającej powstanie i przeniesienie wybuchu. Naturalne zawilgocenie i nasiąkliwość pyłów zmniejszają ich lotność. Pozbawienie lotności pyłów osiąga się poprzez zwilżanie ich wodą, często z użyciem środków zmniejszających napięcie powierzchniowe.

Przy pozbawianiu pyłu lotności, oprócz zawartości wody w pyłe, istotnym jest stopień rozdrobnienia pyłu. Do utraty lotności pył drobnoziarnisty wymaga większej zawartości wody niż pył gruboziarnisty. Dodatkowo pył drobnoziarnisty przemieszcza się dalej od źródła powstania i łatwiej osadza się w górnych partiach wyrobisk, gdzie traci o wiele szybciej wodę, w przeciwieństwie do pyłów zalegających na spągu. Pył taki nawet przy małych prędkościach powietrza unosi się, a powstawanie nawet niewielkich podmuchów powietrza powoduje powstawanie niebezpiecznych obłoków pyłów. Dlatego przy określaniu rzeczywistego stanu zagrożenia wybuchem pyłu węglowego istotne jest przeprowadzenie analizy rozkładu ziarnowego zalegających osadów pyłowych. Badania prof. W. Cybulskiego wykazały, że dopiero przy zawartości 47,5% wody w pyłe nie można było spowodować wybuchu pyłu, stąd przepisy górnicze stanowią, że pył zawierający powyżej 50% wody uważany jest za niewybuchowy, bez uwzględnienia wielkości rozdrobnienia [16].

Przepisy górnicze [83] nakładają również obowiązek utrzymywania stref zabezpieczających przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego. Podstawowymi są strefy o długości nie mniejszej niż 200 m, licząc od potencjalnego źródła wybuchu pyłu węglowego. Za takie źródła uważa się m.in.: wyrobiska, w których wykonywane są roboty strzałowe, przodki chodnikowe i ściany węglowe, pola pożarowe, zbiorniki węgla, składy materiałów wybuchowych, strefy szczególnego zagrożenia tapaniami w pokładach drugiej, trzeciej i czwartej kategorii zagrożenia metanowego, wyrobiska o nachyleniu większym niż 10° z transportem zasilanym elektrycznie. Strefy zabezpieczające wykonuje się poprzez opylanie pyłem kamiennym lub zmywanie wodą całego obwodu wyrobiska. Za prawidłowo wykonaną mokrą strefę zabezpieczającą uważa się taką, gdzie zawartość wody przemijającej w pyłe na całej długości strefy uniemożliwia przeniesienie wybuchu pyłu węglowego. Utrzymywanie stref zabezpieczających jest obowiązkiem służb kopalnianych.

Skuteczność stref zabezpieczających obniża się w czasie z powodu parowania wody i nanoszenia nowych osadów pyłu węglowego, dlatego też bardzo ważnym jest ich cykliczne odnawianie zgodnie z zasadami utrzymywania i kontroli stref zabezpieczających ujętymi w przepisach [46, 47, 83]. Odnawianie stref zabezpieczających realizowane jest w zależności od intensywności osiadania pyłu

węglowego. Strefy zabezpieczające wymagają okresowych kontroli, których częstotliwość określa kierownik ruchu zakładu górniczego, jednak odbywać się muszą nie rzadziej niż co 30 dni. Strefy zabezpieczające utrzymuje się w podziemnych wyrobiskach górniczych zaliczonych do klasy „A” lub „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego [83].

W strefie zabezpieczającej wyrobiska górniczego, zalegający pył kopalniany musi być zabezpieczony, tak by zawierał:

- co najmniej 70% części niepalnych stałych w polach niemetanowych albo co najmniej 80% części niepalnych stałych w polach metanowych lub
- wodę przemijającą w ilości nie mniejszej niż wynikającą z zależności (1.1) określonej w przepisach [83, 47]:

$$W = 50 + \frac{100-n}{100} \cdot W_{pw} - 0,625n, \% \quad (1.1)$$

w której:

W - zawartość wody przemijającej, uniemożliwiająca przeniesienie wybuchu pyłu węglowego %,

N - zawartość części niepalnych stałych w pyłe kopalnianym, %,

W_{pw} - zawartość wilgoci przemijającej węgla, %.

Utrzymywanie stref zabezpieczających wymaga czynności kontrolnych gwarantujących ich właściwe utrzymanie (odnawianie). Kontroli dokonuje się przez pobranie prób zalegającego pyłu kopalnianego, wykonanie analiz laboratoryjnych oraz odniesienie wyników badań laboratoryjnych do wymogów właściwych przepisów [83]. Pobrane próbki pyłu, poprzez pomiar ich masy, umożliwiają określenie intensywności osadzania pyłu w wybranych punktach wyrobiska [46].

Mimo stosowania środków profilaktycznych, w roku 2002 w KWK Jas-Mos nastąpił wybuch pyłu węglowego, w wyniku którego śmierć poniosło dziesięciu ludzi oraz w 2006 roku w KWK Halemba nastąpił wybuch metanu i pyłu węglowego, w wyniku którego śmierć poniosło dwudziestu trzech ludzi [100].

2. Analiza stanu wiedzy w zakresie procesu łączenia cząstek pyłu z kroplami wody

Wykorzystanie wody do zraszania to jedno z najpowszechniej stosowanych sposobów redukcji zapylenia, ograniczania zagrożenia zapłonem metanu oraz ognisk pożarów. Podstawą do stosowania takiego sposobu podnoszenia bezpieczeństwa pracy, są prowadzone w Polsce i na świecie wieloletnie badania związane z opracowywaniem nowych rozwiązań instalacji zraszających oraz badaniem i udoskonalaniem stosowanych. Wykorzystanie do tych celów zraszania powietrzno-wodnego w praktyce górniczej znalazło niewiele zastosowań, które były testowane głównie jako rozwiązanie eksperymentalne np. [20, 41] i tylko w pojedynczych przypadkach znalazły praktyczne zastosowanie również w polskim górnictwie [34]. Według rozeznania dokonanego przez autora, prowadzono wiele prac badawczych w zakresie wspomagania rozpylania wody sprężonym powietrzem do podnoszenia efektywności łączenia kropli wody z pyłem, lecz żadna z nich nie znalazła swojego praktycznego zastosowania. Pozyskana wiedza stanowi bogaty zasób informacji w procesie łączenia kropli wody z cząstkami pyłu i jest punktem wyjścia do aplikacyjnego podejścia do zagadnień zraszania.

2.1. Proces łączenia się kropli wody i cząstek pyłu

Istotą redukcji zapylenia poprzez zraszanie jest łączenie kropli wody z cząstkami pyłu unoszonymi w powietrzu, co powoduje wzrost masy tych cząstek i ich wypadanie poza strugę przepływającego powietrza. W literaturze [87, 35, 95] są opisane różne mechanizmy łączenia cząstek pyłu z kroplami rozpylonej wody (rys. 2.1). Na łączenie cząstek pyłu z kroplami wody mają wpływ siły związane z pędem i bezwładnością, a także siły elektrostatyczne i grawitacyjne. Główne mechanizmy łączenia kropli z pyłem to:

- bezwładnościowy (inercyjny), w którym cząstka pyłu poruszająca się po określonej trajektorii ruchu zderza się z kroplą wody i dochodzi do ich trwałego połączenia. Mechanizm zakłada, że kropla ma kształt kuli i jest ciałem sztywnym,

- zaczepienia, w którym przepływająca cząstka pyłu, przemieszczając się w pobliżu kropli wody, znajduje się w odległości mniejszej niż promień kropli i zaczepia o kroplę, pozostając na niej,
- dyfuzyjny (ruchy Browna), w którym cząstki pyłu wskutek ruchów termicznych nałożonych na strumień konwekcyjny osiadają na kropli wody i są utrzymywane siłami adhezji. Efektywność osadzania się pyłu w przypadku mechanizmu dyfuzyjnego określa się względem liczby Pecleta (zal. 2.1)

$$Pe = \frac{LV}{a} \quad (2.1)$$

gdzie:

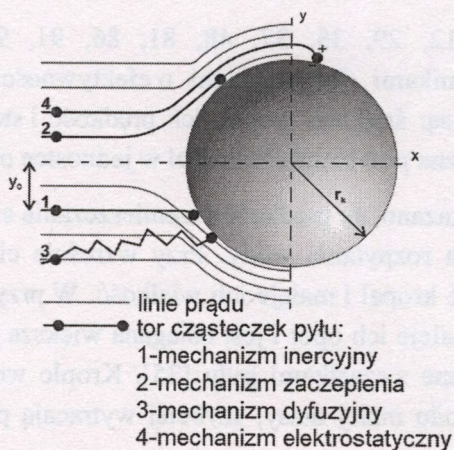
L - wymiar charakterystyczny, m,

V – prędkość, m/s,

a - współczynnik wyrównywania temperatury (dyfuzji termicznej), m²/s.

Osadzanie dyfuzyjne jest istotne w procesach usuwania cząstek o najmniejszych rozmiarach, poniżej 0,5 μm, przy prędkościach przepływu mniejszych od kilku cm/s,

- oddziaływania sił zewnętrznych, czyli oddziaływania grawitacyjne i elektrostatyczne, które są najistotniejsze w warunkach naturalnych. Siłami zewnętrznymi, które również wspomagają łączenie cząstek są: pole magnetyczne lub działanie sił termoferezy. W przypadku łączenia kropeł wody z cząstkami pyłu, ten sposób łączenia ma znaczenie marginalne.



Rys. 2.1. Model mechanizmu łączenia cząstek pyłu z kroplami wody [95]

Opublikowane wyniki przeprowadzonych oraz opisanych badań i analiz [1, 12, 25, 29, 35, 37, 48, 81, 86, 91, 95] wykazują, że efektywność łączenia cząstek pyłu kroplami z wody zależy od wielu czynników, z których najistotniejsze to:

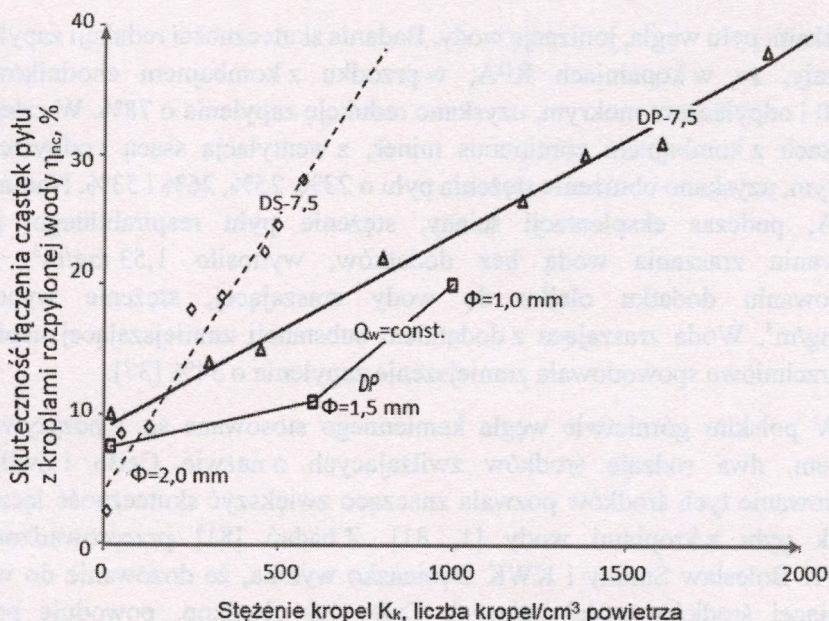
- średnica kropli wody,
- średnica cząstek pyłu,
- ilość rozpylonej wody,
- energia strumienia wody zużytej na rozpylenie,
- względna prędkość kropli wody i cząstek pyłu,
- napięcie powierzchniowe kropli wody,
- zwilżalność pyłu,
- czas kontaktu kropli wody z cząstką pyłu,
- kondensacja pary wodnej na cząstkach pyłu,
- ładunek elektryczny cząstek pyłu,
- ładunek elektryczny kropli wody.

W pracach [1, 12, 29, 35, 37, 48, 81, 86, 91, 95] wykazano, że najistotniejszymi czynnikami decydującymi o efektywności łączenia cząstek pyłu z kroplami wody są: średnica kropeł, ich prędkość i stężenie w jednostce objętości oraz sumaryczna powierzchnia kropeł w jednostce objętości powietrza.

W pracy [35] wykazano, że prędkość przemieszczania się kropeł zależy od ich średnicy i ciśnienia rozpylania wody. Przy wzroście ciśnienia rozpylanej wody wzrasta prędkość kropeł i maleje ich wielkość. W przypadku mniejszych średnic kropeł wody maleje ich opór i jest osiągana większa prędkość, przez co częściej zderzają się one z cząstkami pyłu [35]. Krople wody o ekstremalnie małej średnicy, z powodu małej masy, szybciej wytracają prędkość na skutek oporu powietrza.

Wzrost prędkości kropeł wody powoduje wzrost efektywności ich zderzenia z cząstkami pyłu. Prędkość kropli wody można dobierać w aspekcie efektywnego łączenia z cząstkami pyłu poprzez stosowanie odpowiednich dysz. Przekroczenie pewnej wartości ciśnienia powoduje rozpylenie kropeł do postaci mgły. Rozpylone krople wody, o rozmiarach kilku mikrometrów, szybko wytracają energię i są unoszone przez powietrze przepływające w wyrobisku górniczym.

Skuteczność łączenia cząstek pyłu z kroplami rozpylonej wody zwiększa się wraz ze wzrostem ich stężenia w jednostce objętości (rys. 2.2). Im większe stężenie kropeł wody, tym większe prawdopodobieństwo ich zderzenia z cząstkami pyłu. Badania [35] przeprowadzone dla czterech różnych typów dysz, zasilanych ciśnieniem o wartości od 0,4 do 2,0 MPa wykazały, że ze wzrostem wartości ciśnienia zmniejszała się średnica kropeł. Zwiększenie wartości ciśnienia wody skutkowało nawet stukrotnym zwiększeniem stężenia kropeł wody w objętości oraz nawet dwudziestokrotnym zwiększeniem ich powierzchni w objętości.



Rys. 2.2. Zależność wpływu stężenia kropeł na efektywność strącania pyłów [35]

W pracy [35] wykazano, że proces nawilżenia i wiązania z wodą cząstek pyłu jest wzmożony, gdy następuje koncentracja kropeł wody w jednostce objętości, a więc gdy następuje wzrost wydajności rozpylanej wody.

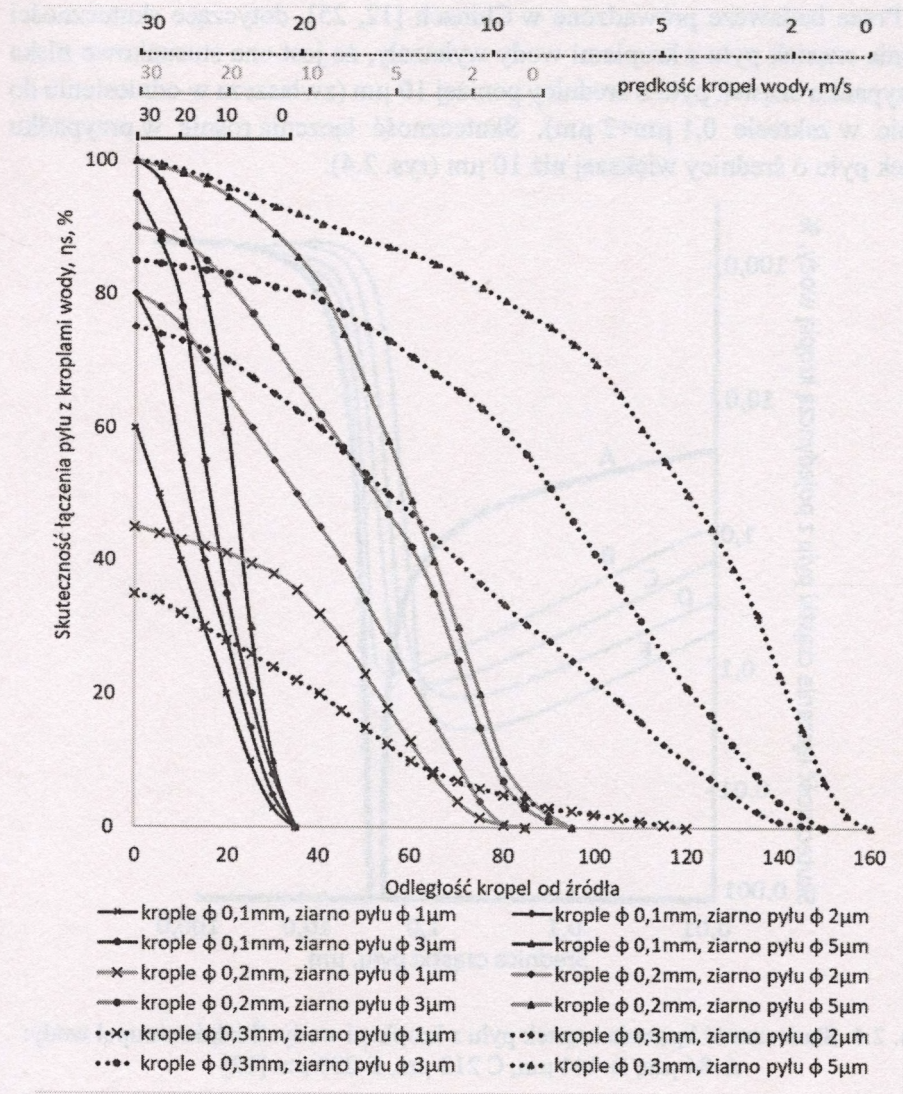
Zwiększając udział małych średnic kropeł wody w strumieniu zraszającym zwiększa się możliwość łączenia z cząstkami frakcji respirabilnej pyłu (do 15 μm). Według źródeł [35, 95] w przypadku wielkości kropeł wody mieszczących się w przedziale od 10 do 800 μm następuje ich efektywne łączenie z cząstkami frakcji respirabilnej pyłu. Źródła amerykańskie [48] podają, że krople wody o średnicy ok. 200 μm są najbardziej efektywne w łączeniu z cząstkami pyłu.

Innym sposobem zwiększenia skuteczności łączenia kropeł wody z cząstkami pyłu jest stosowanie środków zwilżających, dodawanych do rozpylanej wody, powodujących obniżenie napięcia powierzchniowego kropeł. Potwierdzają to wyniki prac badawczych, gdzie do wody dodano olejki z owoców cytrusowych [37]. Rozwiązanie to zastosowano z powodzeniem w systemach zraszania w kopalniach węgla Republiki Południowej Afryki i USA. Dodatek olejku do wody w proporcji 1:5000 powoduje, w połączeniu

z cząstkami pyłu węgla, jonizację wody. Badania skuteczności redukcji zapylenia wykazały, że w kopalniach RPA, w przodku z kombajnem chodnikowym AM-50 i odpylaczem mokrym, uzyskano redukcję zapylenia o 78%. W czterech przodkach z kombajnem continuous miner, z wentylacją ssącą i odpylaczem wirowym, uzyskano obniżenie stężenia pyłu o 23%, 25%, 26% i 53%. Natomiast w USA, podczas eksploatacji ściany, stężenie pyłu respirabilnego, przy stosowaniu zraszania wodą bez dodatków, wynosiło $1,53 \text{ mg/m}^3$, a po zastosowaniu dodatku olejku do wody zraszającej, stężenie wynosiło $0,98 \text{ mg/m}^3$. Woda zraszająca z dodatkiem substancji zmniejszającej napięcie powierzchniowe spowodowała zmniejszenie zapylenia o 34% [37].

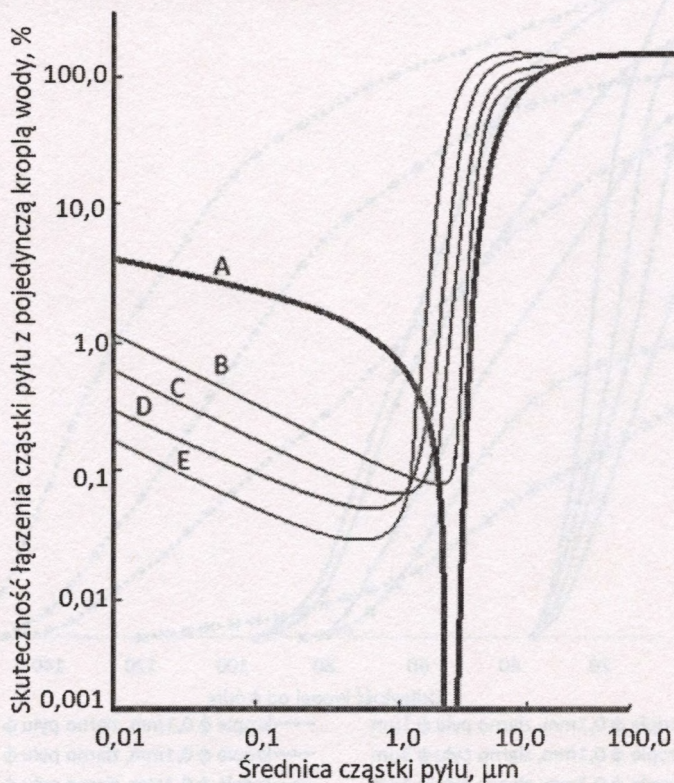
W polskim górnictwie węgla kamiennego stosowane są, z pozytywnym skutkiem, dwa rodzaje środków zwilżających o nazwie CaBo i Zwilkop. Zastosowanie tych środków pozwala znacząco zwiększyć skuteczność łączenia cząstek pyłu z kroplami wody [1, 81]. Z badań [81] przeprowadzonych w KWK Bolesław Śmiały i KWK Dębieńsko wynika, że dozowanie do wody zraszającej środków zmiękczających CaBo lub Zwilkop, powoduje ponad trzykrotne zmniejszenie zapylenia w przodkach chodnikowych, drażonych z zastosowaniem kombajnów chodnikowych. Według tych autorów, stężenie pyłu całkowitego, mierzone w przodku chodnikowym, drażonym kombajnem chodnikowym ze zraszaniem wodnym, wynosiło około 269 mg/m^3 , a po zastosowaniu zwilżacza CaBo zostało obniżone do 91 mg/m^3 . Stężenie pyłu respirabilnego wynosiło 41 mg/m^3 , a po dodaniu środka zwilżającego wynosiło 14 mg/m^3 .

Zrealizowane w Wielkiej Brytanii badania [29, 86] wykazały zmiany efektywności łączenia cząstek pyłu z kroplami rozpylonej wody, przy średnicach cząstek pyłu w zakresie od $1 \mu\text{m}$ do $5 \mu\text{m}$, w zależności od średnicy kropeł rozpylonej wody, ich prędkości i odległości od źródła zraszania. Z przeprowadzonych badań wynika, że skuteczność łączenia cząstek pyłu z kroplami wody gwałtownie spada, gdy średnice cząstek pyłu maleją (rys. 2.3). Zmniejszenie średnicy kropeł wody powoduje wzrost skuteczności łączenia z cząstkami pyłu. Skuteczność maleje ze wzrostem odległości od źródła zraszania.



Rys. 2.3. Skuteczność łączenia pyłu w funkcji średnicy kropeł wody, ich prędkości i odległości od źródła zraszania, różnych średnic cząstek pyłu [29, 18]

Prace badawcze prowadzone w Chinach [12, 25], dotyczące skuteczności łączenia cząstek pyłu z kroplami wody wykazały, że jest ona stosunkowo niska w przypadku cząstek pyłu o średnicy poniżej 10 μm (zwłaszcza w odniesieniu do średnic w zakresie 0,1 μm ÷2 μm). Skuteczność łączenia rośnie w przypadku cząstek pyłu o średnicy większej niż 10 μm (rys. 2.4).



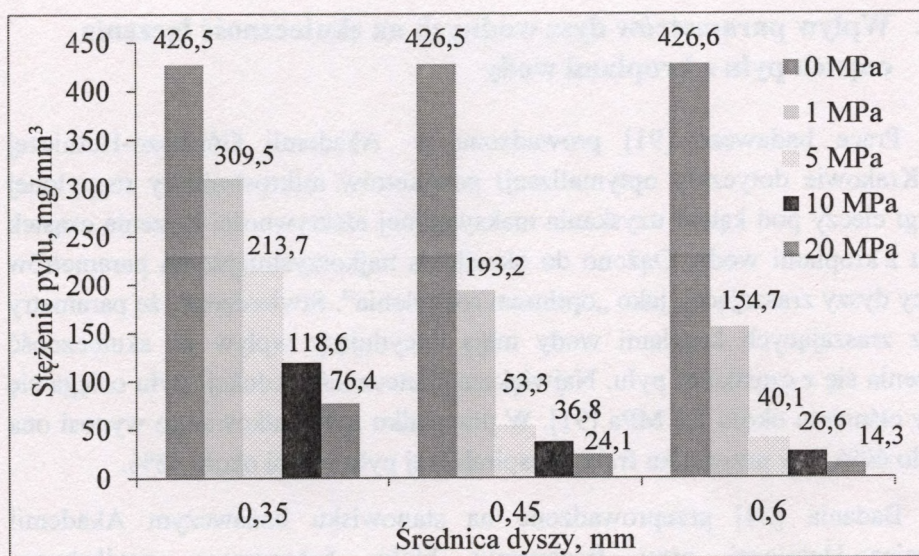
Rys. 2.4. Skuteczność łączenia cząstek pyłu z kroplami wody. Średnice kropeł wody: A-84 μm , B-144 μm , C-212 μm , D-230 μm , E-230 μm [12]

Zbieżne wyniki uzyskano podczas badań przeprowadzonych w chińskich kopalniach, gdzie skuteczność wychwytywania pyłu poprzez zraszanie wewnętrzne i zewnętrzne, zabudowane na kombajnach chodnikowych, wynosiła 60÷70% w przypadku zapylenia całkowitego, i tylko 20÷30% w przypadku frakcji wdychalnej pyłu [12].

2.2. Wpływ parametrów dysz wodnych na skuteczność łączenia cząstek pyłu z kroplami wody

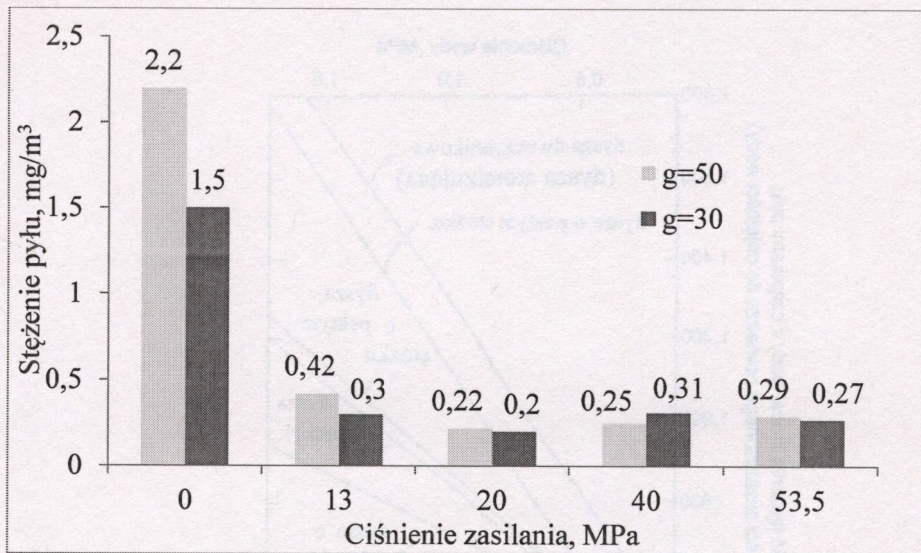
Prace badawcze [91] prowadzone w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie dotyczyły optymalizacji parametrów mikrostruktury rozpylonej strugi cieczy pod kątem uzyskania maksymalnej efektywności łączenia cząstek pyłu z kroplami wody. Dążono do określenia najkorzystniejszych parametrów pracy dyszy zraszającej, jako „optimum rozpylania”. Stwierdzono, że parametry dysz zraszających kroplami wody mają decydujący wpływ na skuteczność łączenia się z cząstkami pyłu. Największą skuteczność redukcji pyłu osiąga się przy ciśnieniu około 1,0 MPa [91]. W przypadku pyłu całkowitego wynosi ona około 60%, a w przypadku frakcji respirabilnej pyłu wnosi około 45%.

Badania [24] przeprowadzone na stanowisku badawczym Akademii Górniczo-Hutniczej przy frezowaniu bloku betonowego wzdłużnym, hydromechanicznym organem urabiającym, umieszczonym na kombajnie AM-50, dotyczyły oceny skuteczności zraszania wewnętrznego w funkcji ciśnienia wody i średnicy otworu dysz. Badania prowadzono przy wartości ciśnienia wody od 1,0 MPa do 20 MPa w przypadku średnic dysz: 0,35 mm, 0,45 mm i 0,6 mm. Wykazano, że skuteczność łączenia cząstek wody z pyłem wzrasta wraz ze wzrostem wartości ciśnienia i zwiększaniem średnicy otworu dyszy zraszającej (rys. 2.5).



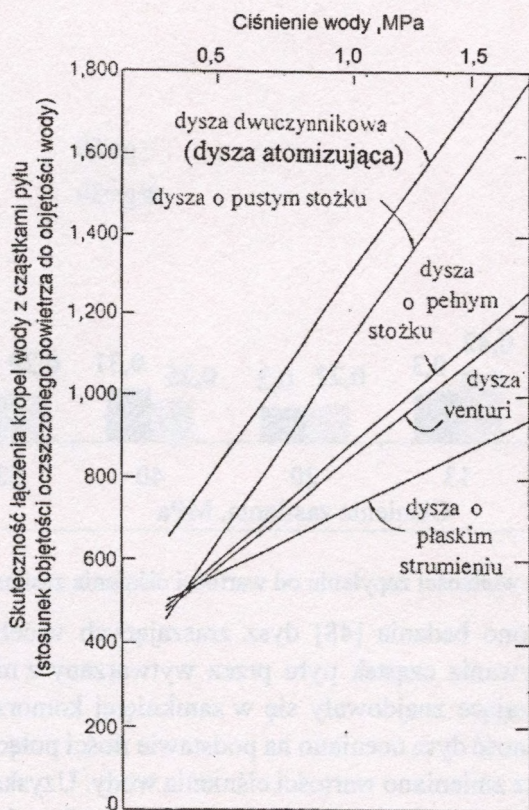
Rys. 2.5. Wyniki pomiarów zapylenia całkowitego podczas urabiania bloku betonowego wzdłużnym organem urabiającym w funkcji ciśnienia wody i średnicy dyszy [24]

Podczas kolejnych badań [31] przeprowadzonych na tym samym stanowisku dokonano porównania wielkości zapylenia wytwarzanego podczas urabiania mechanicznego oraz hydromechanicznego ze wspomaganie wodnym. Podczas urabiania bloku betonowego stosowano zraszanie przy dwóch typach dysz 0,35 mm i 0,45 mm i ciśnieniu wody zraszającej od 13 MPa do 53 MPa. Najlepsze efekty redukcji zapylenia uzyskano w zakresach ciśnienia od 13 MPa do 20 MPa, co odpowiada poborowi mocy układu zasilania wodnego w zakresie 10,6 kW do 12,23 kW. Przy dalszym wzroście wartości ciśnienia uzyskiwano spadek skuteczności redukcji zapylenia (rys. 2.6).



Rys. 2.6. Zależność wielkości zapylenia od wartości ciśnienia zasilania [31]

W USA prowadzono badania [48] dysz zraszających w celu określenia skuteczności wychwytywania cząstek pyłu przez wytwarzany z nich strumień zraszający. Dysze zraszające znajdowały się w zamkniętej komorze, do której wtłaczano pył. Efektywność dysz oceniano na podstawie ilości połączonego pyłu z wodą. W każdej z dysz zmieniano wartości ciśnienia wody. Uzyskane rezultaty przedstawiono na rysunku 2.7. Skuteczność łączenia cząstek pyłu z kroplami wody wzrasta, gdy maleje średnica kropeł wody. Badania wykazały, że stosowanie dysz dwuczynnیکowych (atomizujących) zwiększa skuteczność łączenia kropeł wody z uwagi na ich dużą energię kinetyczną. Skuteczność łączenia cząstek pyłu z kroplami wody, niezależnie od typu dyszy, wzrasta wraz ze zwiększaniem wartości ciśnienia wody w dyszach.

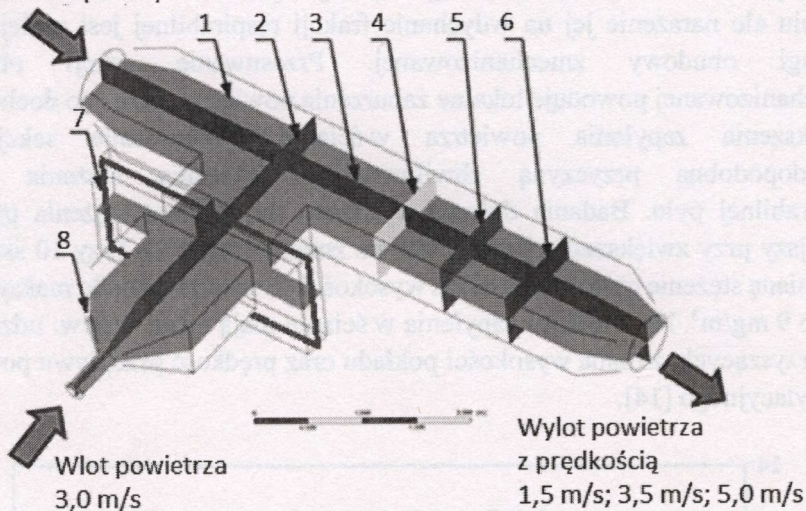


Rys. 2.7. Skuteczność łączenia cząstek pyłu przez krople wody, w odniesieniu do różnych typów dysz [48]

W pracy [4] określono wpływ parametrów strumienia zraszającego na skuteczność redukcji zapylenia powstającego w wyniku urabiania kombajnem ścianowym. Na stanowisku badawczym dokonano pomiarów rozkładu średnic kroplek w płaskim strumieniu zraszającym dyszy powietrzno-wodnej, przy 25 kombinacjach wartości ciśnienia powietrza i wody w zakresie 0,3 do 0,7 MPa, po czym odrzucono 9 kombinacji o największej niejednorodności strumienia i największym zróżnicowaniu kroplek. W każdym z dziewięciu punktów pomiarowych mierzono trzy zakresy średnic kroplek: $0 \div 21,5 \mu\text{m}$, $21,5 \div 63,1 \mu\text{m}$ i $> 63,1 \mu\text{m}$.

W zbudowanym stanowisku badawczym (rys. 2.8) analizowano prędkości powietrza w poszczególnych punktach przekroju komory badawczej. Dozowano pył o określonych właściwościach, który strącano płaskimi strumieniami zraszającymi w różnych wariantach zasilania i wytwarzania.

Przestrzeń otwarta, ciśnienie otoczenia $p=101,325\text{kPa}$



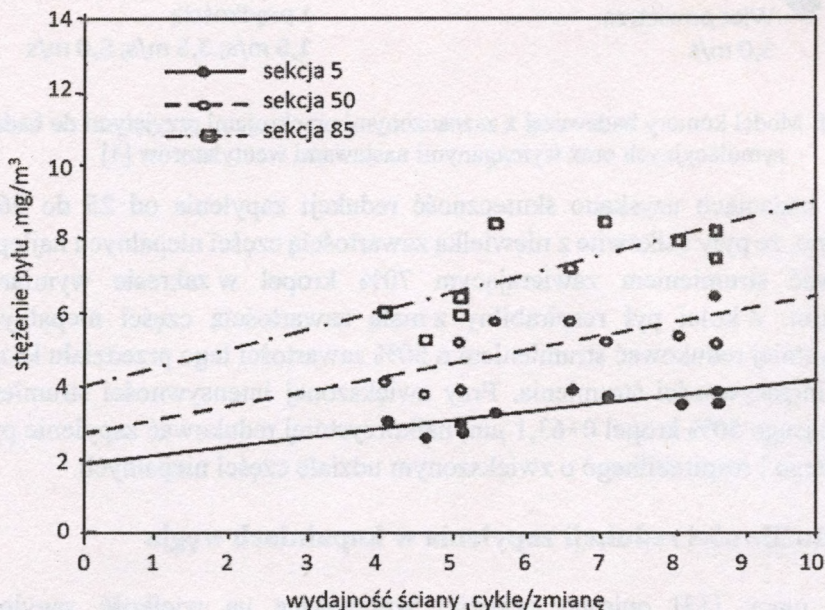
Rys. 2.8. Model komory badawczej z zaznaczonymi przekrojami przyjętymi do badań symulacyjnych oraz wymaganymi nastawami wentylatorów [4]

W badaniach uzyskano skuteczność redukcji zapylenia od 25 do 96%. Określono, że pyły całkowite z niewielką zawartością części niepalnych najlepiej redukować strumieniem zawierającym 70% kropeł w zakresie wymiarów $0\div 63,1\text{ }\mu\text{m}$. Z kolei pył respirabilny z małą zawartością części niepalnych, najkorzystniej redukować strumieniem o 50% zawartości tego przedziału kropeł i małej intensywności strumienia. Przy zwiększonej intensywności strumienia zawierającego 50% kropeł $0\div 63,1\text{ }\mu\text{m}$, najkorzystniej redukować zapylenie pyłu całkowitego i respirabilnego o zwiększonym udziale części niepalnych.

2.3. Możliwości redukcji zapylenia w kopalniach węgla

W pracy [13] opisano czynniki wpływające na wielkość zapylenia w polskich ścianach węglowych, na przykładzie wysokowydajnego kompleksu

ścianowego, zastosowanego w KWK Staszic. Oprócz naturalnych właściwości węgla i skał towarzyszących, wykazano wpływ na wielkość zapylenia: sposobu urabiania, kierowania stropem, prędkości posuwu kombajnu, prędkości obrotowej organów urabiających, jakości i typu noży skrawających, zabioru i systemu zraszania. Według autora [13] wynika, że stężenie pyłu na długości ściany jest zmienne, przez co obsługa kombajnu jest narażona na nie w różnym stopniu ale narażenie jej na wdychanie frakcji respirabilnej jest mniejsze niż obsługi obudowy zmechanizowanej. Przesuwanie sekcji obudowy zmechanizowanej powoduje lokalne zaburzenia powietrza, przez co dochodzi do zwiększenia zapylenia powietrza w ścianie. Przesuwanie sekcji jest prawdopodobną przyczyną chwilowego zwiększania stężenia frakcji respirabilnej pyłu. Badania dołowe wykazały, że przyrost stężenia pyłu był mniejszy przy zwiększeniu liczby cykli na zmianę (rys. 2.9). Przy 10 skrawach na zmianę stężenie pyłu, mierzone na wysokości 85 sekcji wynosiło maksymalnie około 9 mg/m^3 . Na wielkość zapylenia w ścianie mają także wpływ: udział skał towarzyszących, zmiana wysokości pokładu oraz prędkość przepływu powietrza wentylacyjnego [14].

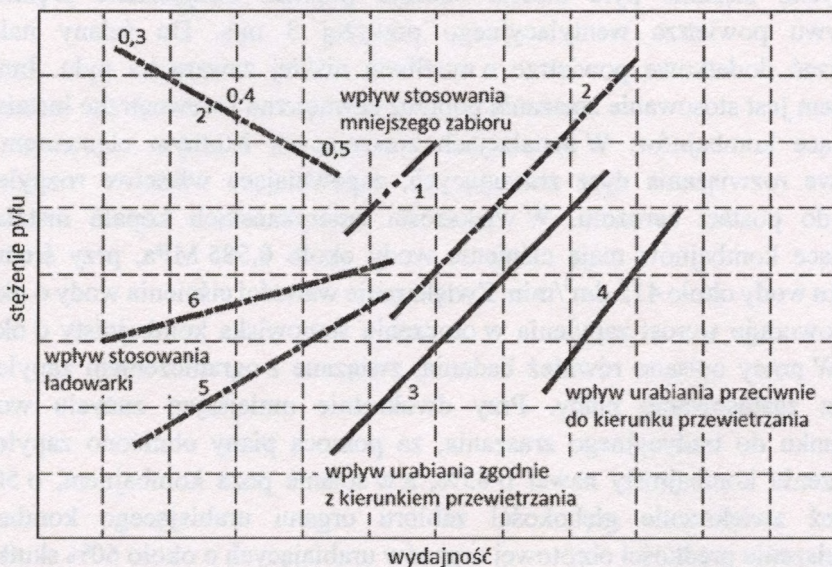


Rys. 2.9. Zmiany stężenia pyłu w funkcji wydajności urabiania w ścianie [13]

W pracy [19] opisano metody ograniczania zapylenia, stosowane w górnictwie amerykańskim. Przy zapyleniu rosnącym wraz ze wzrostem wydobywania, stężenie pyłu można obniżyć poprzez zwiększanie prędkości przepływu powietrza wentylacyjnego powyżej 3 m/s. Do ściany należy dostarczać dodatkowe powietrze o możliwie niskiej zawartości pyłu. Innym sposobem jest stosowanie zraszania poprzez zewnętrzne i wewnętrzne instalacje zraszające kombajnów. W instalacjach zraszających istotnym elementem są właściwe rozwiązania dysz zraszających, zapewniające właściwe rozpylenie wody do postaci aerozolu. W większości amerykańskich kopalń instalacje zraszające kombajnów mają ciśnienie wody około 0,585 MPa, przy średnim wydatku wody około 415 dm³/min. Zwiększenie wartości ciśnienia wody o około 35% powoduje wzrost zapylenia w otoczeniu stanowiska kombajnisty o około 25%. W pracy opisano również badania, związane z ograniczeniem zapylenia poprzez zastosowanie piany. Przy dwukrotnie mniejszym zużyciu wody, w stosunku do tradycyjnego zraszania, za pomocą piany obniżono zapylenie w otoczeniu kombajnisty nawet o 85%, a w ścianie poza kombajnem, o 50%. Również zwiększenie głębokości zabioru organu urabiającego kombajnu i zmniejszenie prędkości obrotowej organów urabiających o około 60% skutkuje zmniejszeniem zapylenia o około 50%. Badania wykazały także, że zmiana kierunku obrotów organów urabiających z podsiębiernego na nadsiębierny może zmniejszyć zapylenie w otoczeniu kombajnisty o 85%, a poza kombajnem nawet do 40%.

W pracy [32] opisano wpływ parametrów urabiania węgla i innych wielkości, na poziom zapylenia. Mierzono wytrzymałość węgla na jednoosiowe ściskanie R_c , wskaźnik skrawalności A , przewidywaną energochłonność urabiania E_{up} , prędkość przepływu powietrza wentylacyjnego w ścianie oraz ciśnienie i natężenie przepływu wody zraszającej. Uwzględniano zróżnicowanie warunków technicznych i technologicznych. Wszystkie badane ściany urabiano dwukierunkowo, z głębokością zabioru od 0,3 m do 0,9 m. Wydajność urabiania wynosiła od 110 t/godz. do 880 t/godz., a prędkość robocza kombajnu od 1,5 m/min do 6,5 m/min. Wszystkie kombajny posiadały zraszanie wodne zewnętrzne i wewnętrzne (zraszanie wewnętrzne z organów urabiających w większości przypadków było niesprawne, z powodu niedrożności dysz). Zanotowany poziom zapylenia był bardzo wysoki i wynosił od 7 mg/m³ do

40 mg/m³. Na rysunku 2.10 przedstawiono wpływ parametrów i elementów technologii urabiania na wielkość zapylenia w ścianie.

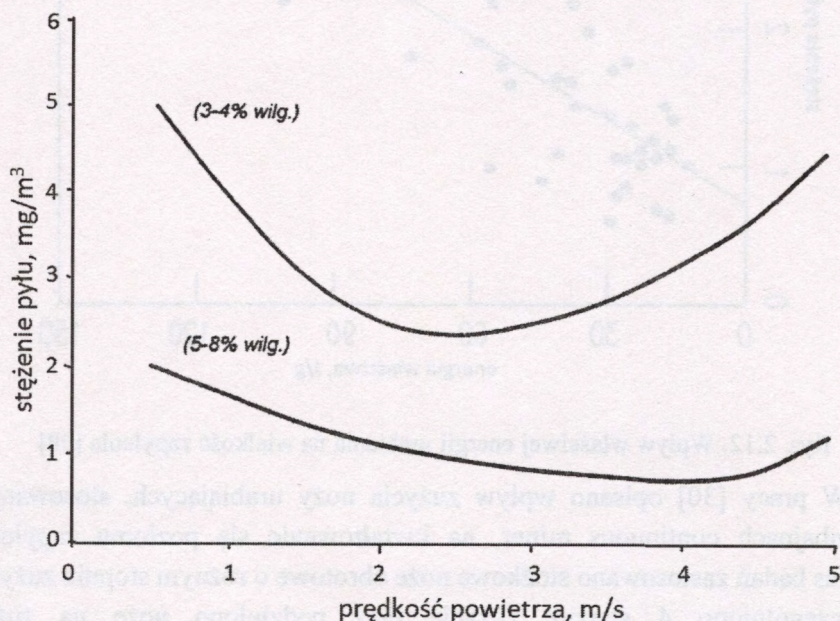


Kopalnia A: urabianie bez ładowarki, w kierunku przeciwnym do przewietrzania (1), urabianie bez ładowarki, w kierunku zgodnym z kierunkiem przewietrzania (2), Kopalnia B: urabianie z ładowarką, w kierunku przeciwnym do przewietrzania (3), urabianie z ładowarką w kierunku zgodnym z kierunkiem przewietrzania (4), Kopalnia C: urabianie z ładowarką w kierunku zgodnym z kierunkiem przewietrzania (5), urabianie bez ładowarki, w kierunku zgodnym z kierunkiem przewietrzania (6)

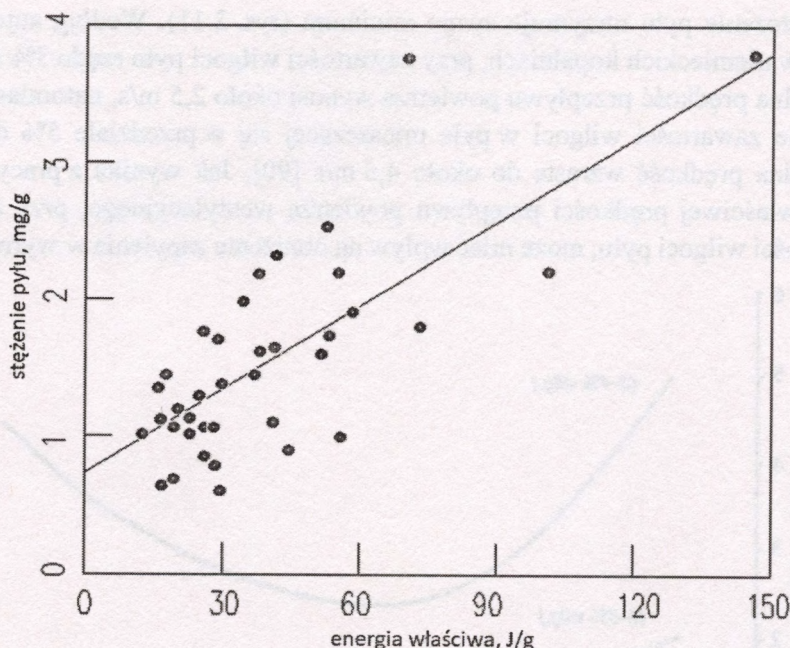
Rys. 2.10. Poziom zapylenia w funkcji wydajności procesu zmiennych parametrów górnictwowych, technicznych i technologicznych [32]

W pracy [90] opisano klasyczne zależności między stężeniem zapylenia a prędkością przepływu powietrza, mierzone w ścianach oraz w tunelach doświadczalnych, o różnej skali wymiarowej. Zależności te dotyczyły zarówno polskiego, jak i światowego górnictwa. Opisano również wyniki badań związanych z wyznaczeniem optymalnej prędkości przepływu powietrza w ścianach, z uwagi na minimalizację wielkości zapylenia. Zarówno klasyczne, jak i optymalne zależności wskazują, że zapylenie osiąga najniższe stężenie przy prędkościach przepływu powietrza w granicach od 1,5 m/s do 2,5 m/s, co jest zgodne z badaniami opisanymi w pracy [32]. W pracy [90] wskazano, że wraz ze wzrostem zawartości wilgoci w pyłe zmniejsza się jego względne stężenie w powietrzu oraz jest możliwy wzrost prędkości przepływu powietrza, przy

której stężenie pyłu utrzymuje swoje minimum (rys. 2.11). Według autora tej pracy, w niemieckich kopalniach, przy zawartości wilgoci pyłu rzędu 3% do 4% optymalna prędkość przepływu powietrza wynosi około 2,5 m/s, natomiast przy wzroście zawartości wilgoci w pyłe mieszczące się w przedziale 5% do 8% optymalna prędkość wzrasta do około 4,5 m/s [90]. Jak wynika z pracy [90], dobór właściwej prędkości przepływu powietrza wentylacyjnego, przy znanej zawartości wilgoci pyłu, może mieć wpływ na obniżenie zapylenia w wyrobisku.



Rys. 2.11. Wpływ prędkości przepływu powietrza w ścianach na względną wartość stężenia zapylenia w przypadku pyłów węglowych o różnej zawartości wilgoci [90]



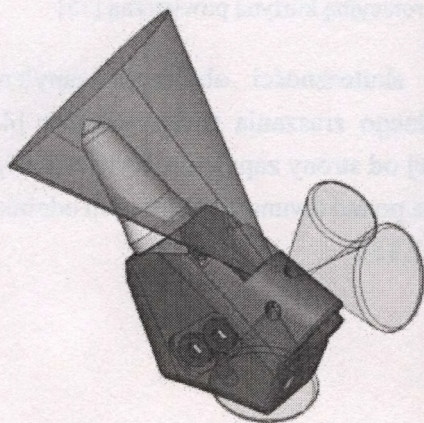
Rys. 2.12. Wpływ właściwej energii urabiania na wielkość zapylenia [30]

W pracy [30] opisano wpływ zużycia noży urabiających, stosowanych w kombajnach continuous miner, na kształtowanie się poziomu zapylenia. Podczas badań zastosowano stożkowe noże obrotowe o różnym stopniu zużycia. Wyszczególniono 4 stopnie zużycia oraz podzielono noże na zużyte symetrycznie i niesymetrycznie. Badania prowadzono na stanowisku badawczym, gdzie każdym typem noża wykonywano 22 równoległe skrawy. Wytworzony pył gromadzono w zamkniętej komorze, który po wysuszeniu ważono z dokładnością do 0,001 mg. Dzięki badaniom oceniono wpływ stopnia i rodzaju zużycia noży urabiających na wielkość zapylenia. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono m.in. liniowy wzrost masy wytworzonego pyłu w funkcji wielkości zużycia noży urabiających oraz wzrost zapylenia wraz ze wzrostem jednostkowej energii urabiania (rys. 2.12).

2.4. Przegląd systemów zraszania w górnictwie

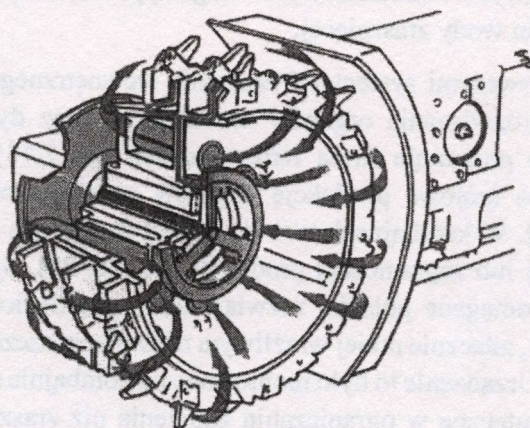
Najpowszechniejszym i wymaganym przepisami [83] sposobem ograniczenia zapylenia w ścianie jest stosowanie zraszania zanożowego lub przednożowego. Rozwiązanie to składa się z uchwytu nożowego z wykonanym, w położeniu „za nożem”, gniazdem dyszy zraszającej posiadającym otwory do zasysania powietrza przez strumień zraszający. Zasysanie powietrza wspomaga rozpylanie strumienia zraszającego, zwiększając jego skuteczność w zakresie redukcji zapylenia. Uchwyty nożowe są stosowane w organach urabiających kombajnów ścianowych i chodnikowych. Tego typu zraszanie wymaga około 200 do 300 dm³/min wody zraszającej.

W Polsce pierwszymi systemami zraszania wewnętrznego w kombajnach były zagraniczne rozwiązania organów urabiających oraz dysz zraszających. Takie rozwiązanie proponuje firma Krummenauer (rys. 2.13) [96]. W latach 90-tych rozpoczęto krajową produkcję organów urabiających ze zraszaniem wewnętrznym [36]. W kombajnach tych do dzisiaj stosuje się uchwyty nożowe z dyszami polskiej lub zagranicznej produkcji [27, 26, 28]. Systemy zraszania były również wspomagane polskim rozwiązaniem strumieniowego rozpylacza wodnego AQUA-1, znacznie mniej wrażliwym na zanieczyszczenia niż zraszanie wewnętrzne [84]. Urządzenie to było montowane na kombajnie ścianowym i było znacznie mniej skuteczne w ograniczaniu zapylenia niż zraszanie wewnętrzne w organach urabiających.



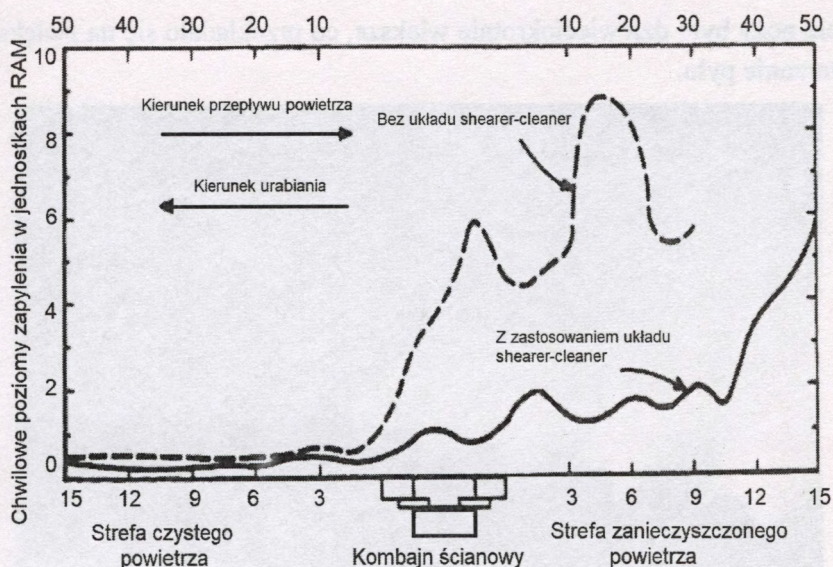
Rys. 2.13. Rozwiązanie zraszania przez firmę Krummenauer [96]

W górnictwie brytyjskim zastosowano rozwiązanie organów urabiających kombajnów ścianowych, w których oprócz układu zraszania zanożowego wykorzystuje się system rotacyjnej kurtyny powietrznej [15]. W rozwiązaniu tym strumienie wody kierowane są dyszami przez kanały wykonane w organie, zasysając za sobą zapyłone powietrze i wytrącając zawarty w powietrzu pył węglowy. Skutecznie obniżają zapylenie oraz doprowadzają do rozrzedzenia metanu w strefie urabiania (rys. 2.14). Rozwiązanie to, choć skuteczne w walce z zapyleniem, powoduje duże zużycie wody sięgające do $400 \text{ dm}^3/\text{min}$.



Rys. 2.14. Szkic organu urabiającego z rotacyjną kurtyną powietrzną [15]

Przeprowadzone w USA badania skuteczności obniżenia zapylenia w ścianie przez stosowanie systemu wodnego zraszania shearer-cleaner [42] wykazały, że utrzymywanie kurtyny wodnej od strony zapylenia, wytworzonego przez kombajn, powoduje utrzymywanie, na ponad dwunastometrowym odcinku, zapylenia w stężeniu dopuszczalnym (rys. 2.15).

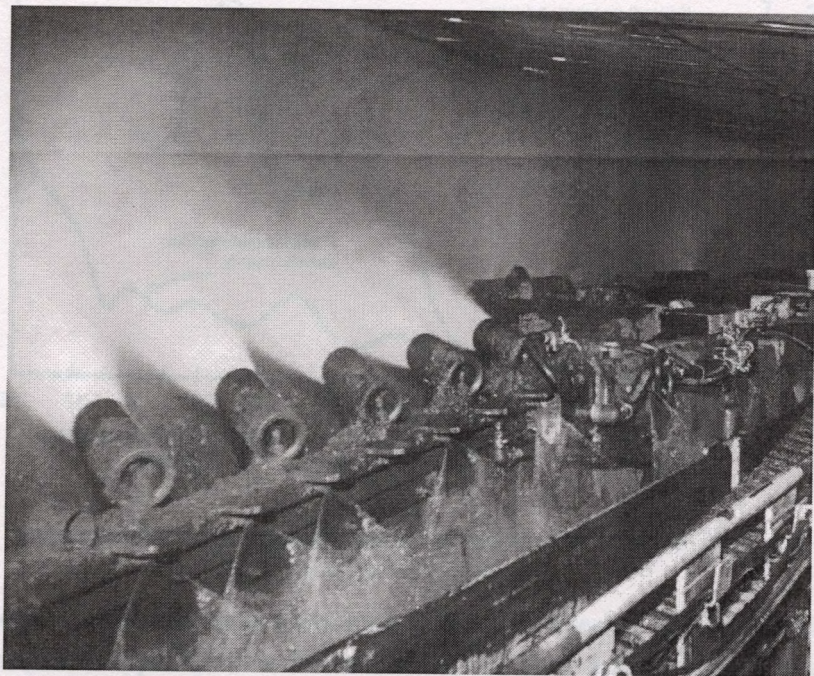


Rys. 2.15. Skuteczność ograniczania zapylenia z zastosowaniem systemu shearer-cleaner [42]

W pracy [32] opisano badania w górnictwie amerykańskim z systemem zraszania shearer-cleaner (rys. 2.16) Skuteczność redukcji zapylenia oparto na podstawie kryteriów, takich jak: przepływ powietrza przez ścianę, wydatek i ciśnienie wody zraszającej na kombajnie oraz wilgotność węgla. Wykazano, że na obniżenie poziomu zapylenia mają wpływ: prędkość powietrza w ścianie powyżej 2 m/s oraz ilość wody zraszającej około 400 dm³/min. Wzrost tych parametrów powoduje ograniczenie zapylenia. Zalecane ciśnienie wody zraszającej w organie urabiającym określono w przedziale 0,5÷0,7 MPa. Powyżej tej wartości dochodzi do wzrostu zapylenia w ścianie. Ciśnienie wody zraszającej to jeden z najważniejszych czynników wpływających na poziom zapylenia.

W ramach tych badań wykazano również, że wzrost zapylenia następuje wraz ze wzrostem stępienia noży kombajnowych. Zużycie noży wzrastało przy zwiększonej ilości urobionego węgla lub skały. To zużycie zwiększało się, gdy dochodziło do wyłamania wkładki z węglika. Zużycie noży kombajnowych każdorazowo prowadziło do zwiększenia zapylenia. Przy urabianiu piaskowca

zużycie noży było dziewięciokrotnie większe, co przekładało się na zwiększone wytwarzanie pyłu.



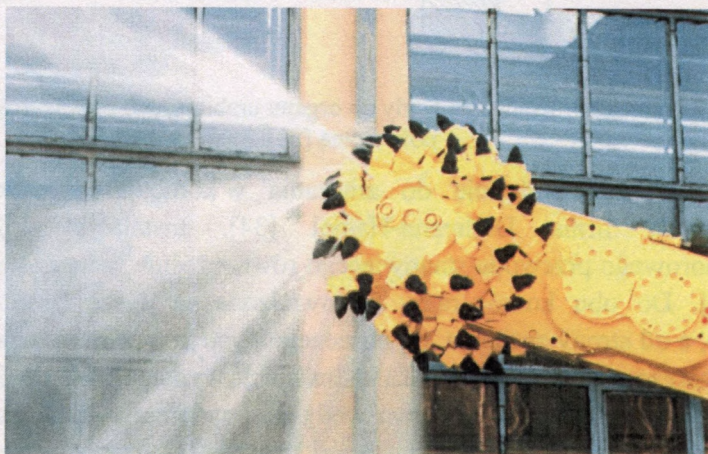
Rys. 2.16. System zraszania shearer cleaner [15]

Najpowszechniejszym sposobem zraszania w kombajnach chodnikowych jest wodne zraszanie zewnętrzne z ramy zamocowanej na wysięgniku kombajnu za organem urabiającym.

Stosowane zewnętrzne zraszanie wodą zainstalowane na kombajnach chodnikowych okazywało się niewystarczająco skuteczne w celu zapewnienia odpowiedniej redukcji zapylenia. W rozwiązaniach krajowych kombajnów, do zwiększenia efektywności redukcji zapylenia stosowano szereg rozwiązań opracowanych przez Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG (obecnie ITG KOMAG), były to między innymi: układ zraszający AQUA-1, układ dysz powietrznych WIR z zasysaniem powietrza czy też wyrzutnik mgły OWR-1 [85]. Poprawę efektywności zraszania przy redukcji zapylenia i ograniczenia możliwości zainicjowania zapłonu osiągnięto przez zastosowanie wewnętrznego

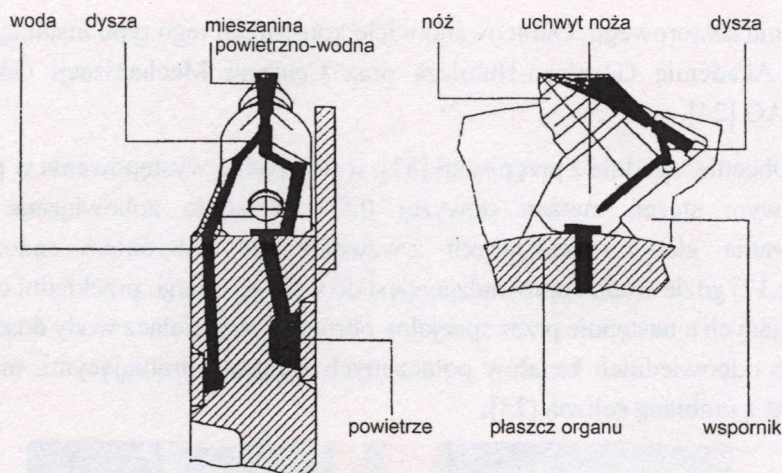
zraszania sektorowego. Opracowano wiele konstrukcji tego typu instalacji, m.in. przez Akademię Górniczo-Hutniczą oraz Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG [24].

Obecnie, zgodnie z przepisami [83], w przypadku występowania w przodku węglowym stężeń metanu powyżej 0,5%, kopalnie zobowiązane są do stosowania głowic urabiających z wewnętrznym zraszaniem zanożowym, (rys. 2.17) gdzie woda doprowadzana jest do wału głównego przekładni organów urabiających a następnie przez specjalny obrotowy rozdzielacz wody dostarczana jest do odpowiednich kanałów połączonych z nożami urabiającymi, mającymi kontakt z urabianą calizną [25].



Rys. 2.17. Sektorowe zraszanie wewnętrzne w kombajnie AM-50Z [25]

Firma Paurat zaproponowała i opatentowała nowatorskie rozwiązanie instalacji zraszającej przeznaczonej do kombajnów chodnikowych [20]. Rozwiązanie to przewidywało wykonanie niezależnych kanałów do doprowadzenia wody i sprężonego powietrza w głowicy urabiającej i uchwytach nożowych (rys. 2.18). Mieszanie obu czynników następowało w dyszach zraszających. Rozwiązanie to nie znalazło zastosowania z powodu trudności technicznych w wykonaniu.

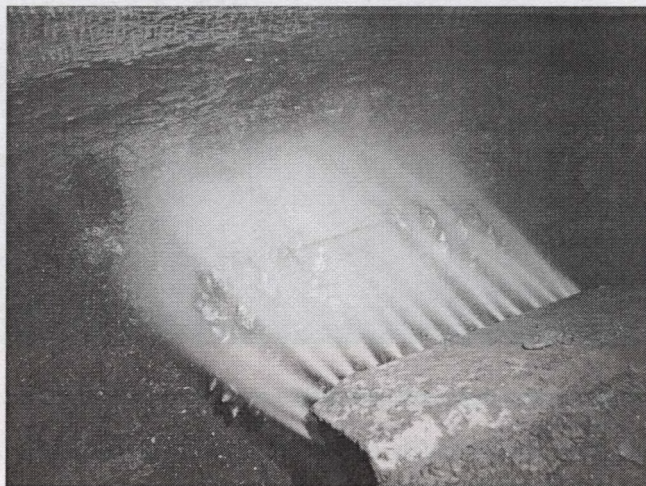


Rys. 2.18. Szkic doprowadzenia wody do organu urabiającego z rotacyjną kurtyną powietrzną [20]

Zupełnie inne podejście do zraszania w kombajnach chodnikowych zaproponowała firma Deilmann-Haniel [34]. Instalacja złożona jest z dwukomorowego przewodu stanowiącego równocześnie ramę nośną instalacji zraszającej. Do obu komór ramy wprowadzone są dysze dwuczynnikiowe zraszające, a od strony zasilania, do poszczególnych komór ramy wprowadzane są woda i sprężone powietrze (rys. 2.19). Instalacja wymaga od 40 do 60 dm³/min wody. Stosunek natężenia przepływu wody do powietrza wynosi około 1:250. Jest to modyfikacja radzieckiej instalacji zraszającej, opracowanej w latach siedemdziesiątych XX wieku [41]. Zmodyfikowane rozwiązanie [34] zastosowano w kombajnach chodnikowych firmy Sandvik.

Najmniej zabezpieczanymi miejscami kopalni przed zapyleniem są wyrobiska korytarzowe poza przodkami. Pył unoszony w powietrzu w dużym stopniu pochodzi z przenośników lub jest generowany podczas prac w chodnikach. W okolicach frontów eksploatacyjnych lub przodków, wytwarzany w procesie urabiania węgla przedostaje się do chodników. Jednym z nowszych sposobów aktywnej redukcji zapylenia jest instalacja zraszająca zastosowana w KWK Halemba-Wirek [21]. Instalacja w postaci podstropowej ramy z zamontowanymi dyszami powietrzno-wodnymi, wytwarza strumień wody rozpylony dużą ilością sprężonego powietrza o wydatku około kilkunastu

m³/min. Zwilżony tym strumieniem pył trafia na przesłony siatkowe zainstalowane w przekroju wyrobiska. Brak jest jednak informacji co do skuteczności systemu i jego obecnych zastosowaniach. Wydaje się, że rozwój tego rozwiązania ograniczyło, podobnie jak w rozwiązaniu Deilmann-Haniel, duże zapotrzebowanie na sprężone powietrze, co w warunkach dołowych jest trudne technicznie do zrealizowania.



Rys. 2.19. Powietrzno-wodna instalacja zraszająca firmy Deilmann-Haniel [34]

Na skuteczność ograniczania zapylenia i zainicjowania zapłonu metanu w dużym stopniu wpływają dysze zraszające. Powinny charakteryzować się właściwą wytrzymałością konstrukcyjną i odpornością na zatykanie oraz możliwością wytworzenia rozpylonego strumienia o pożądanym parametrach. W początkowym okresie wdrażania zagranicznych instalacji zraszających importowano również dysze zraszające. W późniejszym okresie polscy producenci rozpoczęli produkcję krajowych konstrukcji dysz zraszających, spełniających oczekiwane wymagania techniczne [26, 27, 85]. Jednym z głównych producentów dysz zraszających jest firma ZMP Stalmet, która pierwsze swoje konstrukcje wykonywała w oparciu o rozwiązania opracowane przez KOMAG. W późniejszych latach, na rynku pojawiły się rozwiązania dysz z zasysaniem powietrza, które charakteryzowały się większym rozpyleniem wody niż typowe dysze wodne (rys. 2.20) [28].



Rys. 2.20. Injektorowe urządzenie zraszające według rozwiązań ZP Stalmet [28]

Większość prac badawczych i nowych rozwiązań urządzeń zraszających miała miejsce w latach siedemdziesiątych, osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku. Miało to związek z dużym znaczeniem górnictwa węglowego w Europie i USA, dostępem do nowych technik badawczych i wytwórczych oraz wzrostem świadomości przedsiębiorców w zakresie ochrony zdrowia i życia ludzkiego.

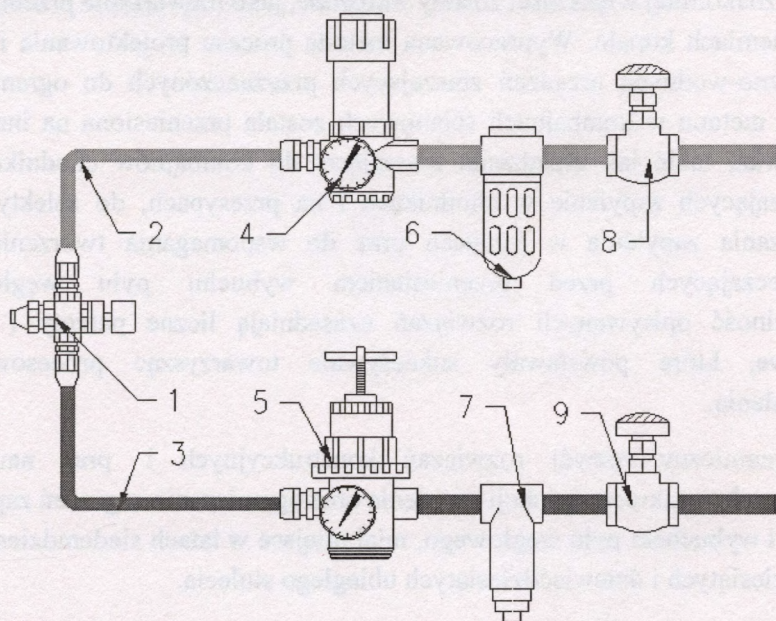
3. Nowe podejście ITG KOMAG do zagadnień zraszania

Opisane w kolejnych rozdziałach rozwiązania stanowią wkład autora w rozwój powietrzno-wodnych urządzeń zraszających, stanowiący kilkunastoletni dorobek Instytutu Techniki Górniczej KOMAG. Przedstawione rozwiązania są efektem prac koncepcyjnych, projektowych i badawczych autora, które w znakomitej większości zostały wdrożone, jako rozwiązania przemysłowe w podziemiach kopalń. Wypracowana metoda procesu projektowania i badań powietrzno-wodnych urządzeń zraszających przeznaczonych do ograniczania zapłonu metanu w kombajnach ścianowych została przeniesiona na inne pola zastosowań, takie jak urządzenia zraszające: do kombajnów chodnikowych, ograniczających zapylenie w chodnikach i na przesypach, do selektywnego ograniczania zapylenia w ścianach oraz do wspomagania tworzenia stref zabezpieczających przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego. Oryginalność opisywanych rozwiązań uzasadniają liczne patenty i wzory użytkowe, które powstawały sukcesywnie towarzysząc procesowi ich doskonalenia.

Dynamiczny rozwój rozwiązań konstrukcyjnych i prac naukowo-badawczych w zakresie redukcji zapylenia oraz ograniczania zagrożeń zapłonem metanu i wybuchem pyłu węglowego, miał miejsce w latach siedemdziesiątych, osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia.

Występujące cyklicznie katastrofy górnicze związane z wybuchem metanu i pyłu węglowego [100, 94], szczególnie wybuch pyłu węglowego z 2002 roku w KWK Jas-Mos, który pochłonął 10 ofiar, zainicjowały podjęcie w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG intensywnych działań w zakresie rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo eksploatacji węgla w warunkach zagrożenia zapłonem metanu i wybuchem pyłu węglowego. Efektem tego działania był projekt celowy [49], w którym ITG KOMAG wspólnie z Jastrzębską Spółką Węglową S.A. zaproponował powietrzno-wodną instalację zraszającą stanowiącą integralną część kombajnu ścianowego. Było to pierwsze tego typu rozwiązanie przemysłowe zastosowane w kombajnie ścianowym.

Rozpylanie wody z wykorzystaniem sprężonego powietrza powoduje jej rozbicie do bardzo małych średnic kropeł rzędu nawet od kilku do kilkunastu mikrometrów. W tym celu dokonano przeglądu dostępnych rozwiązań dwuczynnikowych dysz zraszających [98, 99, 101], które były przystosowane do zasilania wodą i sprężonym powietrzem i w oparciu o nie zbudowano laboratoryjny egzemplarz doświadczany instalacji (rys. 3.1).



1-dysza dwuczynnikowa, 2-przewód pneumatyczny,
3-przewód wodny, 4-regulator ciśnienia powietrza,
5-regulator ciśnienia wody, 6-filtr powietrza, 7-filtr wody,
8-zawór odcinający powietrzny, 9-zawór odcinający wodny

Rys. 3.1. Szkic instalacji do sterowania powietrzno-wodnym strumieniem zraszającym [49]

Zraszanie dyszami dwuczynnikowymi polega na wprowadzaniu do dysz równocześnie wody i sprężonego powietrza. Powietrze wyrzucane z dyszy powoduje rozpylenie wody do postaci mgły lub aerozolu. Zasięg strumienia, zakres średnic kropeł oraz ich rozkład frakcyjny zależy od rodzaju zastosowanej dyszy oraz wielkości i różnicy ciśnień mediów zasilających.

Prowadzone dalsze prace naukowo-badawcze spowodowały opracowanie autorskich rozwiązań dysz dwuczynninkowych charakteryzujących się odpowiednią wytrzymałością konstrukcyjną i dużym stopniem rozpylenia wody. Dysze te zastosowano w instalacji zraszającej kombajnu KSW-460NE, który przebadano w Kopalni Doświadczalnej Barbara oraz w warunkach eksploatacyjnych i wdrożono w kopalniach, jako seryjny produkt. Badania stanowiskowe wykazały bardzo dobre właściwości gaszące powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, a utylitarne dołowe wykazały jej wysoką skuteczność w redukcji zapylenia generowanego w ścianie.

Kolejne prace projektowe i konstrukcyjne zaowocowały licznymi rozwiązaniami powietrzno-wodnych instalacji zraszających do kombajnów ścianowych, które są rozwijane do dnia obecnego [70, 72]. Rozwiązania te znalazły zastosowanie u użytkowników w kraju i za granicą.

W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG realizowano prace naukowo-badawcze nad rozwiązaniami powietrzno-wodnych instalacji zraszających przeznaczonych do kombajnów chodnikowych. W ramach współpracy z firmami REMAG oraz CORUM opracowano, przebadano i wdrożono powietrzno-wodne instalacje zraszające stosowane w kilku typach kombajnów chodnikowych.

W dalszych pracach projektowych podjęto się rozwiązania powietrzno-wodnych instalacji zraszających do przesypów przenośników i chodników. Chodniki, szczególnie w prądzie zużytego powietrza to miejsca z dużym stężeniem pyłu w powietrzu kopalnianym. Przesypy przenośników są jednymi z głównych źródeł powstawania pyłu. We współpracy z firmami Hellfeier i Elektron, ITG KOMAG opracował liczne rozwiązania instalacji zraszających, przeznaczonych do tego typu zastosowań. Przeprowadzone badania dołowe wykazały, że dzięki odpowiednio zastosowanym powietrzno-wodnym instalacjom zraszającym można ograniczyć zapylenie nawet o 90% [54].

W wyniku kolejnych prac badawczo-rozwojowych opracowano i wdrożono powietrzno-wodną instalację zraszającą typu KOMAG przeznaczoną do zainstalowania w ścianie na sekcjach obudowy zmechanizowanej [58]. Rozwiązanie przeznaczono do ograniczania zapylenia w ścianie, w strefie

między kombajnem a chodnikiem wentylacyjnym. Badania wykazały, że rozwiązanie umożliwia ograniczenie zapylenia 50÷70% [60].

Równolegle z opracowywaniem instalacji zraszających w ITG KOMAG ciągle doskonalone są rozwiązania dysz zraszających uwzględniające specyficzne wymagania warunków panujących w kopalniach.

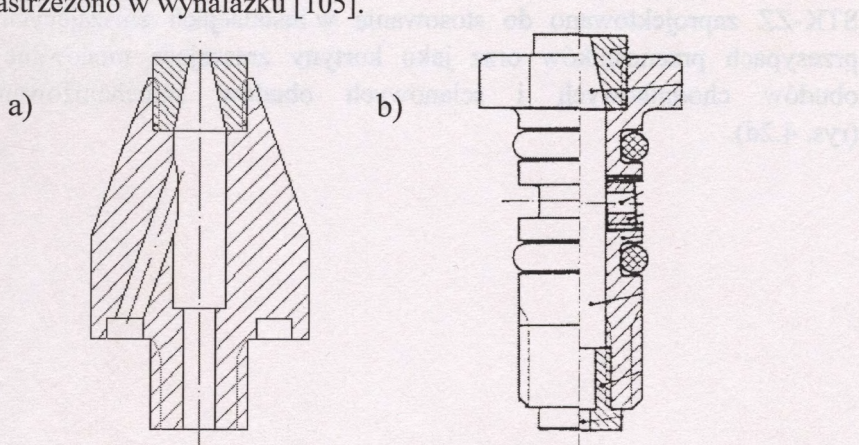
Jednym z trudniejszych zagadnień występujących w kopalniach, jest właściwe utrzymanie stref zabezpieczających, które stanowią jedną z głównych linii obrony przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego. ITG KOMAG wspólnie z Głównym Instytutem Górnictwa (w tym z Kopalnią Doświadczalną Barbara) i KWK Brzeszcze podjął się prac mających na celu zwiększenie poziomu zabezpieczenia przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego i optymalizację środków do tworzenia stref zabezpieczających poprzez wprowadzenie automatyzacji przy ich tworzeniu [51]. W wyniku przeprowadzonych badań zaproponowano modele zależności intensywności osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej i zapylenia w powietrzu kopalnianym. Opracowano również powietrzno-wodne instalacje zraszające, sprzężone z pyłomierzem optycznym i sterowane z wykorzystaniem specjalnego algorytmu.

Rozwiązania dysz dwuczynnikaowych i powietrzno-wodnych instalacji zraszających opracowanych przez ITG KOMAG, zaowocowały licznymi rozwiązaniami wynalazczymi, chronionymi w Urzędzie Patentowym RP. Rozwiązania te zdobyły pozytywne opinie użytkowników i Wyższego Urzędu Górniczego a swój wysoki poziom innowacyjności potwierdziły poprzez uhonorowanie licznymi nagrodami i wyróżnieniami otrzymanymi w międzynarodowych i polskich konkursach i wystawach.

4. Rozwiązania powietrzno-wodnych dysz zraszających

Opracowane w Instytucie KOMAG i zastosowane w kopalniach węgla instalacje zraszania powietrzno-wodnego przeznaczone do kombajnów górniczych [33, 45], cechują się bardzo wysoką skutecznością redukcji pyłu z powietrza, ograniczają zapłon metanu oraz mają zdolność gaszenia płomienia gazowego. Właściwości te potwierdzono badaniami stanowiskowymi w KD Barbara [38, 88] oraz badaniami eksploatacyjnymi [8, 2]. Pierwszy egzemplarz powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, zastosowany w kombajnie KSW-460NE wyposażono w handlowe dysze firmy Spraying System. Kombajn z tą instalacją testowano w podziemiach kopalni podczas eksploatacji ściany w warunkach, gdzie dysze montowane na ramionach kombajnu były ciągle poddawane kontaktowi z urabianą skałą, działaniu dużej ilości pyłu oraz niekontrolowanym uderom. Wyniki badań eksploatacyjnych powietrzno-wodnej instalacji zraszającej wykazały potrzebę zastosowania dwuczynnikowych dysz zraszających, o bardziej wytrzymałej konstrukcji, mniejszej wrażliwości na zanieczyszczenia i prostszym sposobie uszczelnienia oraz czyszczenia dysz. W związku z powyższym w Instytucie KOMAG zaprojektowano i opatentowano rozwiązanie dwuczynnikowej dyszy zraszającej typu STK.

W rozwiązaniu powietrzno-wodnej dyszy zraszającej zaproponowano zamknięcie komory mieszania mediów wymiennymi wkładkami, w których można zmieniać średnicę i kształt otworów dolotowych i wylotowych (rys. 4.1), co zastrzeżono w wynalazku [105].

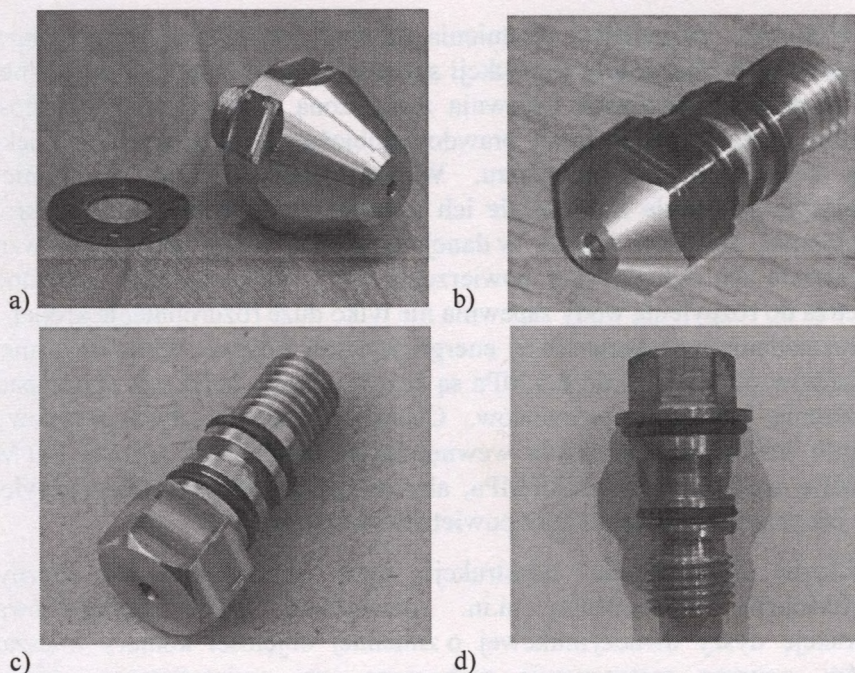


Rys. 4.1. Powietrzno-wodna dysza zraszająca według patentu PL 212 229 B1 [105]: a) StK-2D, b) STK-2Z

Opracowanie nowej konstrukcji dwuczynnikowych dysz zraszających do górnictwa spowodowało rozpoczęcie ich produkcji przez ZMP Stalmet w Stargardzie Szczecińskim, a później również przez firmę Hellfeier. Zapewnienie właściwej skuteczności strumienia zraszającego wymagało wytworzenia kropel o określonym zakresie średnic.

W zaprojektowanych, przez Instytut KOMAG dyszach dwuczynnikowych z wewnętrznym mieszaniem mediów, mieszanina powietrzna i wody jest wytwarzana wewnątrz dyszy, z której następuje wyrzut strumienia drobno rozpylonych kropel. Przeprowadzone badania wykazały, że dysze dwuczynnikowe opracowane przez Instytut KOMAG charakteryzują się większą skutecznością redukcji zapylenia i tłumienia płomieni strumieniami zraszającymi niż dysze wodne, stosowane w kombajnach górniczych.

Pierwsze egzemplarze badawcze dysz dwuczynnikowych o symbolu StK-2D (rys. 4.2a) zastosowano w kombajnie KSW-460NE, eksploatowanym w KWK Pniówek. Egzemplarze seryjne dysz o symbolu STK-Z (rys. 4.2b) i STK-R (rys. 4.2c) zastosowano w kolejnych egzemplarzach kombajnów ścianowych KSW-460NE oraz w kombajnach ścianowych KSW-880EU, KSW-1500EU, KSW-1140EU, KSW-800NE (KOPEX MACHINERY), a także w kombajnach chodnikowych R-200 i R-130 (REMAC). Dysze typu STK-ZZ zaprojektowano do stosowania w instalacjach zraszających na przesypach przenośników oraz jako kurtyny zraszające mocowane do obudów chodnikowych i ścianowych obudów zmechanizowanych (rys. 4.2d).

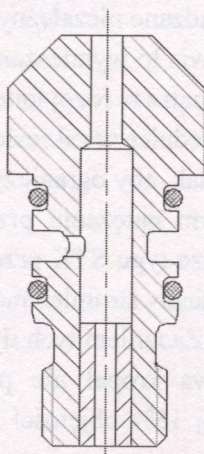


Rys. 4.2. Powietrzno-wodne dysze zraszające: a) StK-2D, b) STK-Z, c) STK-R, d) STK-ZZ [44, 77]

W dyszach powietrzno-wodnych, zasilanych wodą i sprężonym powietrzem, media są doprowadzane niezależnymi przewodami, i wprowadzane do komory mieszania. Umożliwia to wymieszanie czynników dopiero wewnątrz dyszy i wyrzucenie ich na zewnątrz w rozpylonej postaci. Otwór wylotowy dysz StK-2D, STK-Z i STK-R ma średnicę w zakresie $2 \div 3$ mm, co zapewnia drożność dyszy. Dyszę zaprojektowano tak, aby ograniczyć natężenie przepływu wody do $1 \text{ dm}^3/\text{min}$, przy równoczesnym natężeniu przepływu sprężonego powietrza w ilości $50 \div 100 \text{ dm}^3/\text{min}$. Dysze typu STK przeznaczone do zasilania mediami o ciśnieniu do $0,6 \text{ MPa}$. Wyrzucany strumień ma kształt stożka o kącie około 15° i efektywny zasięg około 3 m . Zadaniem tych dysz jest wytworzenie strumienia, w którym co najmniej połowa kropeł nie przekroczy średnicy $15 \div 25 \text{ }\mu\text{m}$, a średnica kropeł przynajmniej 15% objętości strumienia nie przekroczy $5 \text{ }\mu\text{m}$ [44].

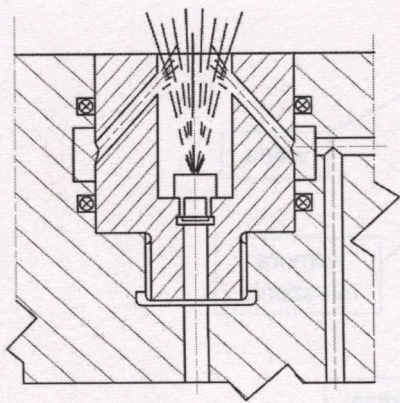
Właściwe rozpylenie strumienia dyszą zraszającą jest związane z oczekiwaną skutecznością w redukcji stężenia pyłu, zwłaszcza respirabilnego. Duże rozpylenie strumienia zapewnia zwiększoną liczbę kropeł w jednostce objętości, przez co zwiększa się prawdopodobieństwo ich zderzenia z większą liczbą cząstek pyłu w powietrzu. Większa liczba kropeł w strumieniu zraszającym powoduje zwiększenie ich sumarycznej powierzchni. Dwukrotne zmniejszenie średnicy kropeł w danej objętości wody powoduje wzrost w kwadracie ich sumarycznej powierzchni [44]. Wykorzystanie sprężonego powietrza do rozpylenia wody zapewnia nie tylko duże rozdrobnienie kropeł, ale również nadanie im odpowiedniej energii wyrzutu z dyszy. Wartości ciśnienia obu mediów od 0,3 MPa do 0,5 MPa są bezpieczne dla ludzi, np. w przypadku uszkodzenia jednego z przewodów. Ciśnienie zasilania dysz w typowych wodnych instalacjach zraszania wewnętrznych kombajnów wynosi 2,0 MPa $\pm$ 0,6 MPa, a niekiedy nawet 10 MPa, aby osiągnąć podobny efekt rozpylenia wody jak przy zastosowaniu dysz powietrzno-wodnych.

Ciągłe doskonalenie konstrukcji dysz skutkowało ich licznymi modyfikacjami. Opracowano m.in. rozwiązanie, gdzie zaproponowano konstrukcję dyszy dwuczynnikowej o zmiennej objętości komory mieszania mediów, poprzez zastosowanie ruchomego, np. gwintowanego elementu wkręcanego w komorę (rys. 4.3). Konstrukcja dodatkowo charakteryzuje się tym, że jest wyposażona w element zawirowujący, umieszczony w górnej części komory, przy otworze wylotowym [109].

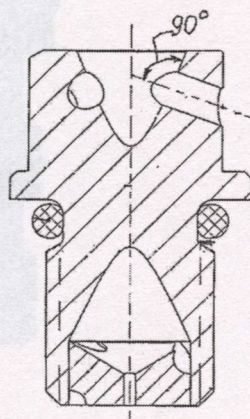


Rys. 4.3. Dysza dwuczynnikowa o zmiennej objętości komory mieszania mediów według patentu PL 213447 B1 [109]

Innym rozwiązaniem dyszy dwuczynnikowej było umieszczenie dyszy wodnej w tulei o określonych cechach geometrycznych, zasilanej sprężonym powietrzem (rys. 4.4) [107]. W wyniku prac projektowych opracowano konstrukcję dyszy wodnej z zasysaniem powietrza atmosferycznego, wspomagającego rozpylanie strumienia zraszającego (rys. 4.5). Konstrukcja dyszy jest wyposażona w zawirowywacz ze śrubowymi rowkami, skreconymi w kierunku zgodnym z położeniem osi otworów do zasysania powietrza, a komora wylotowa strumienia ma kształt zbliżony do stożka. Otwory zasysające są skierowane prostopadłe do ścianki otworu wylotowego [106]. Dzięki takiej konstrukcji, dysza wytwarza równomiernie rozpylony strumień o kącie stożka około 20° . Rozwiązanie jest powszechnie stosowane w wodnych instalacjach zraszających kombajnów ścianowych i chodnikowych.



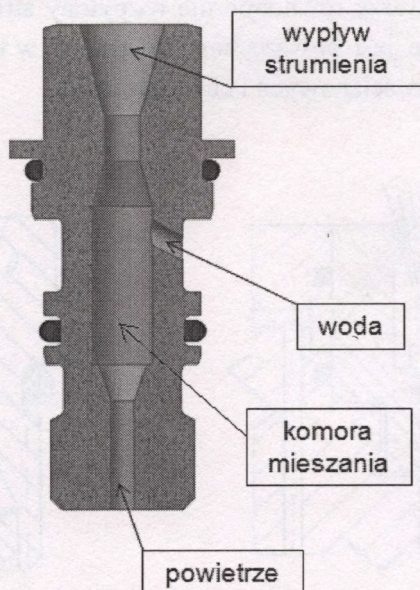
Rys. 4.4. Dwuczynnikowa dysza zraszająca według patentu PL 214646 B1 [107]



Rys. 4.5. Dysza zraszająca według zgłoszenia wynalazczego P.395507 [106]

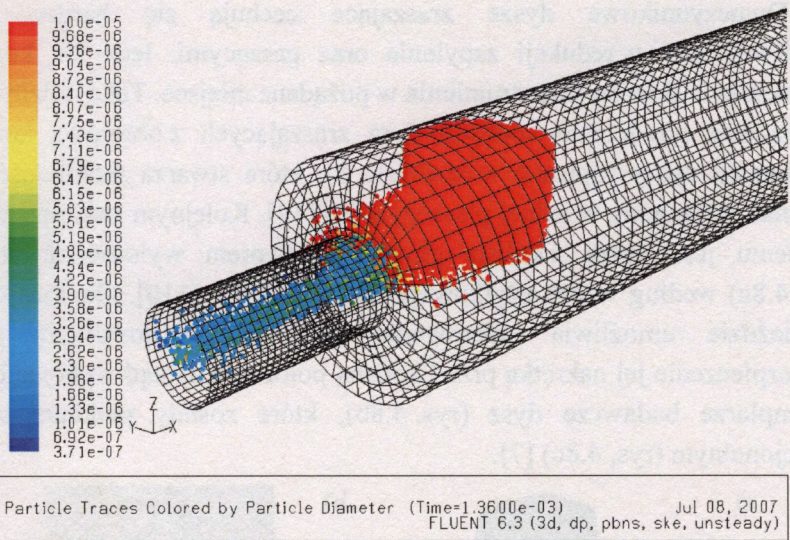
Opracowane powietrzno-wodne dysze zraszające (rys. 4.3) wytwarzają strumienie rozpylonej wody, których połowa objętości zawiera się w średnicach do $16\text{ }\mu\text{m}$, co odpowiada wielkości cząstek pyłu respirabilnego, który ma wiązać ze sobą [54].

W latach 2010-2014 podczas realizacji projektu badawczego INERG [50] zoptymalizowano konstrukcję powietrzno-wodnej dyszy zraszającej [108]. Optymalizacja konstrukcji osiągnięta w ramach prowadzonych badań polegała na takim ukształtowaniu powierzchni komory mieszania, jej kształtu oraz kierunków i kątów otworów doprowadzających media zraszające, aby wykorzystać jak największy udział energii sprężonego powietrza do rozpylenia strumienia zraszającego i zwiększenia jego zasięgu (rys. 4.6). Konstrukcja dyszy uwzględniała także możliwości jej wykonania i wystarczającą odporność na trudne warunki eksploatacyjne.

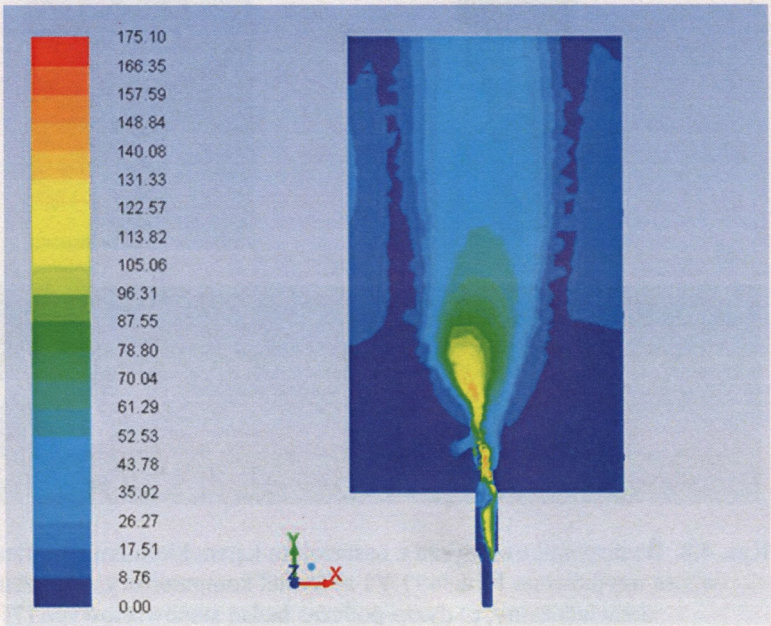


Rys. 4.6. Model dyszy dwuczynnowej według patentu PL 221151 B1 [108]

Poprawność konstrukcji potwierdzono poprzez badania symulacyjne z wykorzystaniem programu do symulacji przepływu cieczy i gazów w aspekcie optymalizacji przepływu dwufazowego [50]. Po wykonaniu egzemplarzy badawczych potwierdzono brak niepożądanych średnic kropeł w wytwarzanym strumieniu (rys. 4.7).



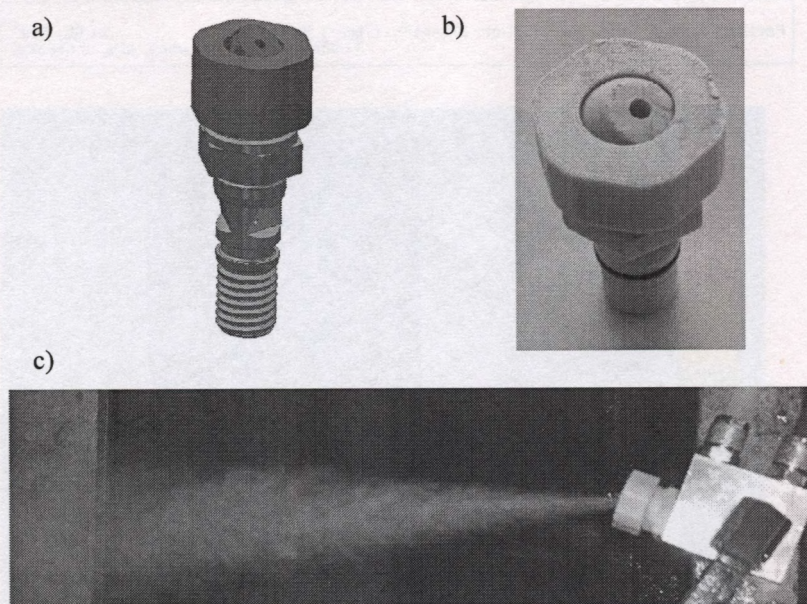
a)



b)

Rys. 4.7. Wyniki badań symulacyjnych dyszy dwuczynnikowej:
a) symulacja rozchodzenia się wody w komorze mieszania, b) symulacja wyrzutu strumienia z dyszy [50]

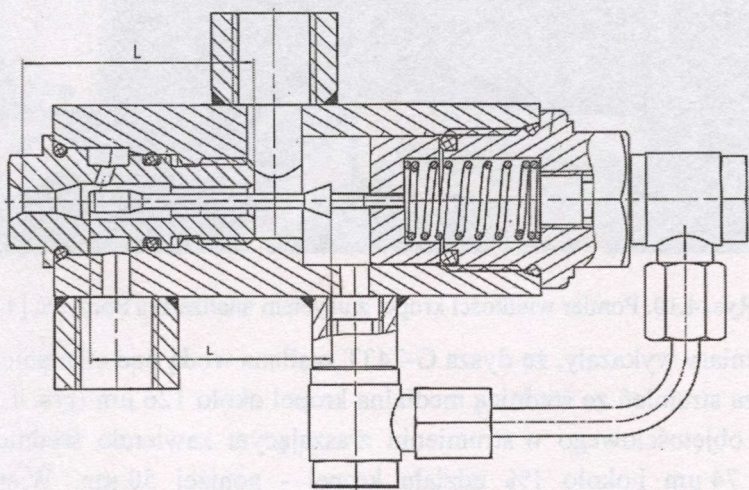
Dwuczynnikowe dysze zraszające cechują się bardzo dobrymi właściwościami w redukcji zapylenia oraz gaszącymi, lecz ich konstrukcja uniemożliwia skierowania strumienia w pożądane miejsce. Taką możliwość daje rozwiązanie powietrzno-wodnych dysz zraszających z obrotową konstrukcją mocowania dyszy (opisane w rozdziale 5), która stwarza możliwość zmiany kierunku strumienia w jednej płaszczyźnie [114]. Kolejnym rozwiązaniem tego problemu jest dysza z kulistą głowicą z otworem wylotowym strumienia (rys. 4.8a) według wzoru użytkowego PL 68497 Y1 [110]. Głowica osadzona w gnieździe umożliwia skierowanie strumienia w dowolnym kierunku i zabezpieczenie jej nakrętką przed zmianą położenia. Dotąd wykonano jedynie egzemplarze badawcze dysz (rys. 4.8b), które zostały poddane badaniom funkcjonalnym (rys. 4.8c) [7].



Rys. 4.8. Dwuczynnikowa dysza z nastawnym kątem kierunku strumienia według wzoru użytkowego PL 68497 Y1 a) model komputerowy, b) egzemplarz doświadczalny, c) dysza podczas badań stanowiskowych [7]

W wyrobiskach ze szczególnie dużym zapyleniem lub w przypadku zasilania dysz zraszających niedostatecznie oczyszczonymi mediami może mieć miejsce ich zatykanie. Powietrzno-wodne dysze zraszające są zaprojektowane

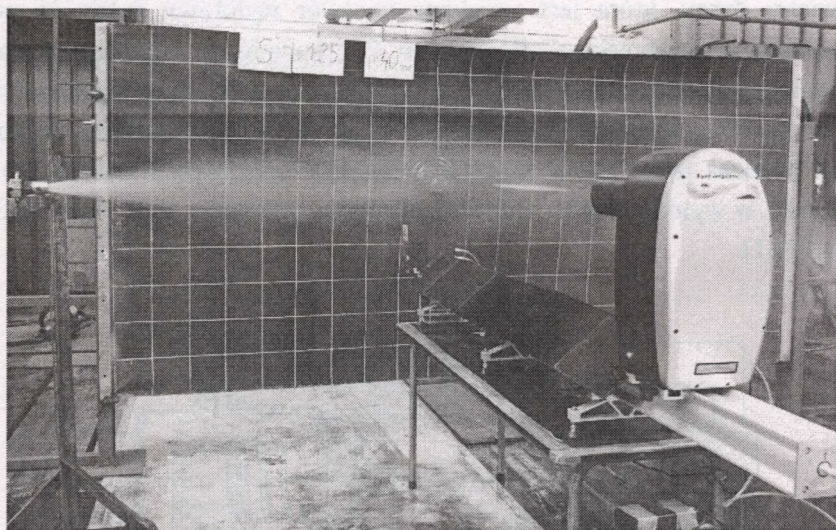
tak, aby utrudnić ich zatykanie wtrąceniami mechanicznymi. W ramach prac projektowych zaproponowano rozwiązanie dwuczynnikowej dyszy samoczyszczącej (rys. 4.9). Rozwiązanie polega na umieszczeniu iglicy wewnątrz dyszy, która jest wciskana w otwór wylotowy dyszy za pomocą sprężyny o ściśle określonej sile docisku. Wciskana iglica zapobiega dostawianiu się zanieczyszczeń podczas postoju dyszy. Podczas pracy dyszy iglica odciągana jest za pomocą sprężonego powietrza. W zależności od wariantu wykonania, iglica podczas pracy dyszy może być na stałe wysunięta z otworu lub może pulsować w wyniku zmian wartości ciśnienia powietrza pod i nad tłoczkiem iglicy [121].



Rys. 4.9. Dysza samoczyszcząca według patentu PL 223893 B1 [121]

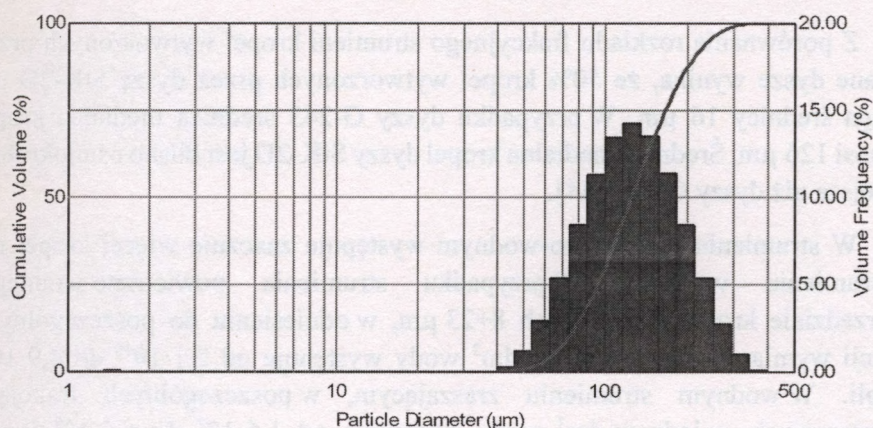
W ramach badań dysz zraszających, prowadzonych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG [43, 82], dokonano porównania charakterystyk strumieni zraszających wytworzonych przez dwa rodzaje dysz: wodnej i powietrzno-wodnej. Uwzględniono w nich ich typowe parametry zasilania. Pierwsza to dysza wodna typu G-243T (średnica otworu wylotowego 1,2 mm), a druga to dysza powietrzno-wodna StK-2D, o średnicy otworu wylotowego 2 mm. Obie dysze wyprodukowano w ZMP Stalmet. W celu przeprowadzenia rozkładu frakcyjnego rozpylonych kropeł, dokonano pomiaru procentowego udziału poszczególnych

frakcji i wielkości kropeł w badanych strumieniach zraszających (rys. 4.10). Pomiar wykonano za pomocą analizatora Spraytec, w odległości 1,25 m od otworu wylotowego dyszy.



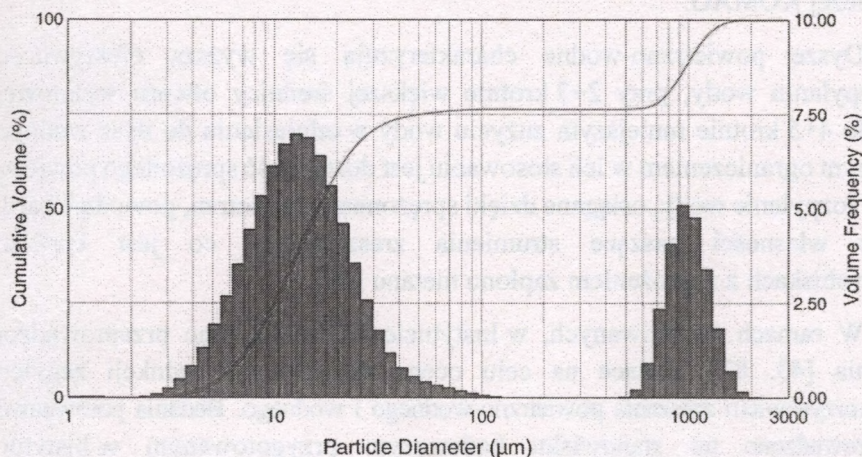
Rys. 4.10. Pomiar wielkości kropeł z użyciem analizatora Spraytec [44]

Pomiary wykazały, że dysza G-243T zasilana wodą pod ciśnieniem 5 MPa wytwarza strumień ze średnicą medialną kropeł około $126\text{ }\mu\text{m}$ (rys. 4.11). 10% udziału objętościowego w strumieniu zraszającym zawierało średnice kropeł poniżej $74\text{ }\mu\text{m}$ i około 1% udziału kropeł - poniżej $50\text{ }\mu\text{m}$. W strumieniu zraszającym dyszy G-243 zmierzono, że występuje najwięcej kropeł o średnicach w przedziale $73\div 251\text{ }\mu\text{m}$, które mają około 85% udziału w całym strumieniu zraszającym.



Rys. 4.11. Rozkład frakcyjny kropeł dyszy G-243 typu T [43]

Dwuczynnikowa dysza StK-2D, zasilana wodą i sprężonym powietrzem pod ciśnieniem 0,5 MPa, wytwarza strumień z medialną średnicą kropeł około 16 μm (rys. 4.12). Udział kropeł o średnicy do 7 μm w strumieniu zraszającym nie przekroczył 10%, a kropeł o średnicy do 50 μm wyniósł 75% udziału w objętości całego strumienia. W strumieniu zraszającym dyszy StK-2D najczęściej zaobserwowano kropeł o średnicach w przedziale 8÷23 μm , które stanowią około 50% udziału w całym strumieniu zraszającym [54].



Rys. 4.12. Rozkład frakcyjny kropeł dyszy StK-2D [54]

Z porównania rozkładu frakcyjnego strumieni kropeł wytworzonych przez badane dysze wynika, że 50% kropeł wytworzonych przez dyszę StK-2D nie osiąga średnicy 16 μm . W przypadku dyszy G-243 średnica medialna kropeł wynosi 126 μm . Średnica medialna kropeł dyszy StK-2D jest blisko ośmiokrotnie mniejsza niż dyszy G-243 [44].

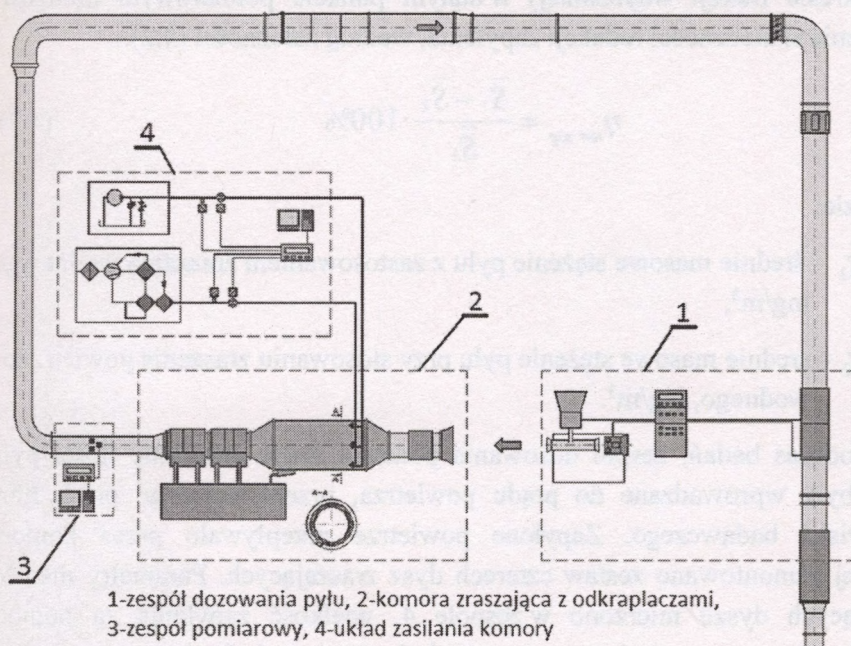
W strumieniu powietrzno-wodnym występuje znacznie więcej kropeł niż w strumieniu wodnym. W przypadku strumienia powietrzno-wodnego, w przedziale kropeł o średnicach $8\div 23 \mu\text{m}$, w odniesieniu do poszczególnych frakcji wymiarowych, w jednym dm^3 wody występuje od $2,1 \cdot 10^{10}$ do $4,9 \cdot 10^{11}$ kropli. W wodnym strumieniu zraszającym, w poszczególnych frakcjach wymiarowych, w jednym dm^3 wody występuje od $1,6 \cdot 10^7$ do $6,5 \cdot 10^8$ kropli o średnicach $73\div 251 \mu\text{m}$. W strumieniu zraszania powietrzno-wodnego występuje około 1000 razy więcej kropli niż w strumieniu zraszania wodnego, i mają one około 10 razy większą sumaryczną powierzchnię. Kilkukrotnie większe natężenie przepływu wody w dyszach G-243T ($4\div 5 \text{ dm}^3/\text{min}$), niż w dyszach powietrzno-wodnych StK-2D ($1 \text{ dm}^3/\text{min}$), wytwarza nadal krople o około dwukrotnie mniejszej powierzchni [54].

Potwierdzeniem słuszności opisanych prac badawczych i projektowych związanych z powietrzno-wodnymi dyszami zraszającymi były badania redukcji stężenia pyłu przeprowadzone przez zespoły badawcze Instytutu Techniki Górniczej KOMAG.

Dysze powietrzno-wodne charakteryzują się wyższą efektywnością w rozpylaniu wody, przy $2\div 3$ krotnie większej średnicy otworu wylotowego i około $4\div 5$ krotnie mniejszym zużyciu wody w odniesieniu do dysz wodnych. Jedynym ograniczeniem w ich stosowaniu jest dostępność sprężonego powietrza. Duże rozpylenie wody, osiągane dzięki sprężonemu powietrzu, powoduje bardzo dobre własności gaszące strumienia zraszającego, co jest korzystne w wyrobiskach z zagrożeniem zapłonu metanu [44].

W ramach realizowanych, w Instytucie KOMAG, prac przeprowadzono badania [43, 82], mające na celu ocenę skuteczności redukcji zapylenia z wykorzystaniem zraszania powietrzno-wodnego i wodnego. Badania porównawcze przeprowadzono na stanowisku badawczym przygotowanym w Instytucie KOMAG przy różnych parametrach zasilania instalacji zraszających [43, 82].

Na rysunku. 4.13 przedstawiono schemat stanowiska wyposażonego w układ pomiarowy.



Rys. 4.13. Schemat stanowiska do badania skuteczności instalacji zraszania wraz z zainstalowanym układem pomiarowym [82]

Do obliczeń wykorzystano zależność (4.1):

$$\bar{S} = \frac{m}{\dot{V} \cdot \tau} \quad (4.1)$$

gdzie:

$\bar{S}$ - średnie stężenie pyłu, mg/m^3 ,

$\dot{V}$ - objętościowe natężenie przepływu powietrza w CIP-10, dm^3/min ,

τ - czas pomiaru, min,

m - masa pyłu w miseczce pomiarowej, mg.

Pomiar procentowego stężenia pyłu całkowitego (zawierającego cały zakres frakcji ziarnowej unoszonych przez strumień powietrza) oraz respirabilnego (w zakresie frakcji wdychalnej) w danym punkcie pomiarowym umożliwił określenie skuteczności redukcji zapylenia, według zależności (4.2).

$$\eta_{red\ zap} = \frac{\bar{S}_1 - \bar{S}_2}{\bar{S}_1} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

gdzie:

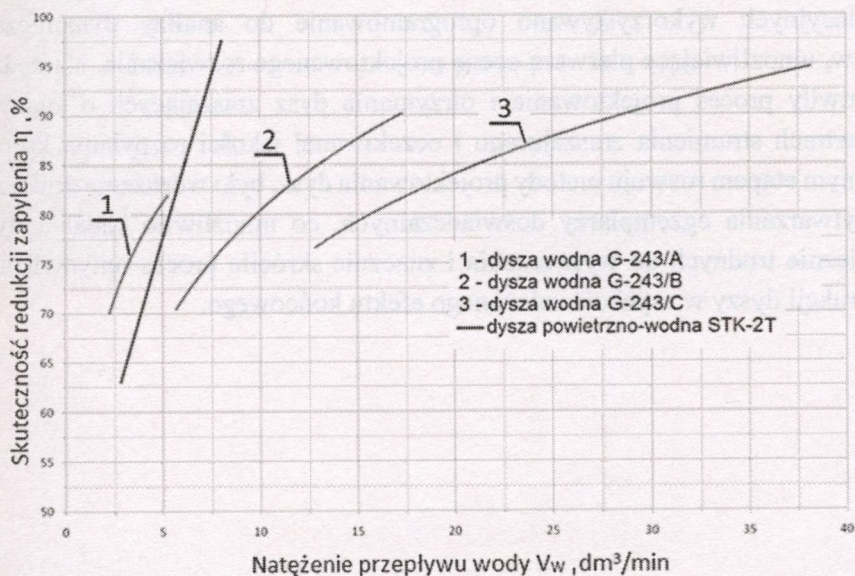
$\bar{S}_1$ – średnie masowe stężenie pyłu z zastosowaniem zraszania wodnego, mg/m^3 ,

$\bar{S}_2$ – średnie masowe stężenie pyłu przy stosowaniu zraszania powietrzno-wodnego, mg/m^3 .

Podczas badań, zespół dozowania podawał ściśle określone ilości pyłu, które były wprowadzane do prądu powietrza, przepływającego przez tunel stanowiska badawczego. Zapyłone powietrze przepływało przez komorę, w której zamontowano zestaw czterech dysz zraszających. Parametry mediów zasilających dysze mierzono w zespole 4, wielkość zapylenia za pomocą pyłomierza optycznego mierzono w zespole 3, a w zespole 1 mierzono parametry atmosferyczne: temperaturę, wilgotność, prędkość przepływu powietrza i ciśnienie barometryczne. Na końcu lutniociągu zabudowano filtr cząstek stałych wychwytywanych z powietrza. Skuteczność redukcji zapylenia danej baterii dysz określano poprzez różnicę pomiędzy masą pyłu na filtrze instalacji działającej bez zraszania i ze zraszaniem przy użyciu dysz danego typu. Zespół pomiarowy wyposażono w pyłomierze do pomiaru frakcji respirabilnej pyłów dwoma metodami: fotometryczną i grawimetryczną oraz pyłu całkowitego metodą grawimetryczną [82].

Biorąc pod uwagę, że badania wykonano w celu porównania skuteczności zraszania powietrzno-wodnego niskociśnieniowego (ciśnienie mediów 0,3 MPa do 1,2 MPa) z wodnym zraszaniem wysokociśnieniowym z zasysaniem powietrza (ciśnienie wody od 1 MPa do 9 MPa), do porównania uwzględniono m.in. natężenie przepływu wody. Zależność natężenia przepływu wody od

skuteczności redukcji zapylenia zraszaniem wodnym i zraszaniem powietrzno-wodnego przedstawiono na rysunku. 4.14.



Rys. 4.14. Zależność skuteczności redukcji pyłu w funkcji natężenia przepływu wody [82]

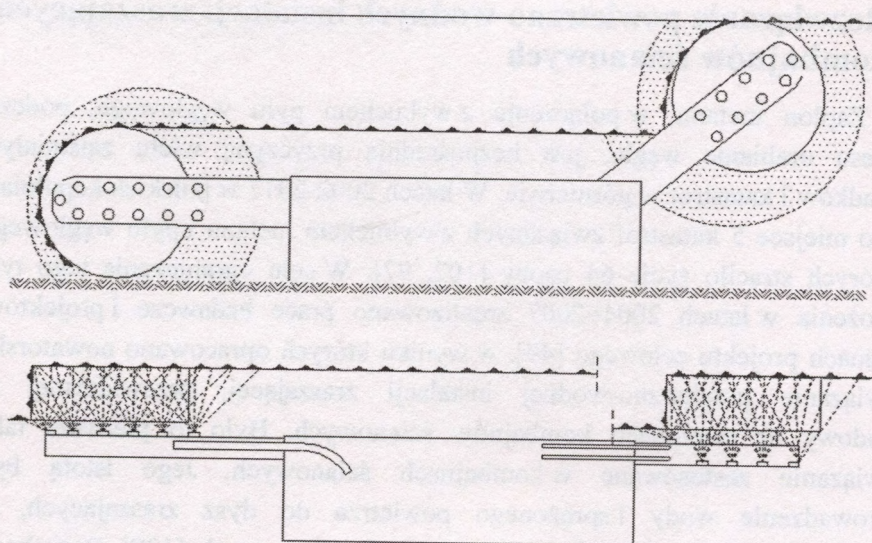
Z badań wynika, że za pomocą strumieni powietrzno-wodnych można uzyskać lepszą skuteczność redukcji pyłu, przy kilkukrotnie mniejszym zużyciu wody.

Opisany proces projektowania, badań i optymalizacji konstrukcji w aspekcie oczekiwanych parametrów strumienia zraszającego powietrzno-wodnych dysz zraszających opracowanych przez autora, w początkowym etapie prac był bardzo ograniczony zarówno w zakresie badań stanowiskowych, jak i symulacyjnych. Każdą dyszę z wymiennymi dławikami kanałów wlotowych i wylotowego stanowił egzemplarz doświadczalny do badań różnych wariantów dysz, w których mierzono wartości ciśnienia oraz natężenie przepływu wody i sprężonego powietrza a parametry strumienia oceniano wizualnie i przez pomiar jego geometrii. W miarę rozwoju zagadnień projektowania dysz ITG KOMAG wyposażył swoje laboratorium w analizator kropeł wyposażony w 24 detektory

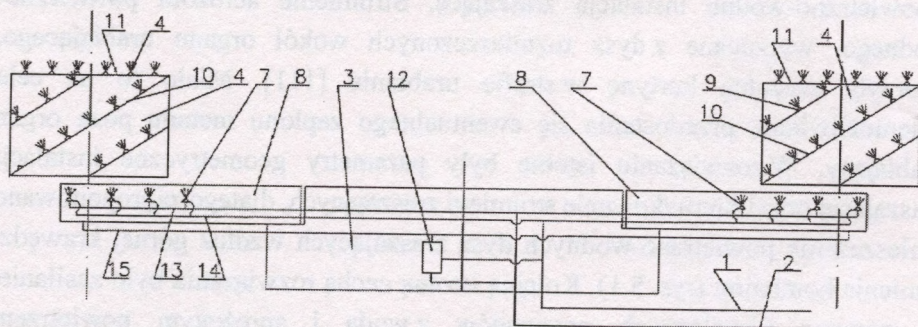
laserowe umożliwiające pomiar średnic kropeł w zakresie od $0,1\mu\text{m}$ do 1 mm oraz określenie liczby kropeł w strumieniu zraszającym. W zakresie badań symulacyjnych wykorzystywano oprogramowanie do analizy dynamicznej płynów, umożliwiające pierwszą ocenę projektowanego rozwiązania. Narzędzia te ułatwiły proces projektowania i otrzymania dysz zraszających o znanych parametrach strumienia zraszającego i oczekiwanej jakości rozpylania kropeł. Kolejnym etapem rozwoju metody projektowania dysz, było wdrożenie druku 3D do wytwarzania egzemplarzy doświadczalnych, co umożliwiło badania dysz technicznie trudnych do wytworzenia i znacznie skróciło proces optymalizacji konstrukcji dyszy w aspekcie założonego efektu końcowego.

5. Rozwiązania powietrzno-wodnych instalacji zraszających kombajnów ścianowych

Zapłon metanu, w połączeniu z wybuchem pyłu węglowego, podczas procesu urabiania węgla, jest bezpośrednią przyczyną wielu zaistniałych wypadków i katastrof w górnictwie. W latach 2002-2017 w polskich kopalniach miało miejsce 5 katastrof związanych z wybuchem metanu i pyłu węglowego, w których straciło życie 64 osoby [102, 97]. W celu ograniczenia tego typu zagrożenia w latach 2004÷2007 zrealizowano prace badawcze i projektowe w ramach projektu celowego [49], w wyniku których opracowano nowatorskie rozwiązanie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, przewidzianej do zabudowy na ramionach kombajnów ścianowych. Było to pierwsze takie rozwiązanie zastosowane w kombajnach ścianowych. Jego istotą było doprowadzenie wody i sprężonego powietrza do dysz zraszających, co powodowało atomizację wody i jej wyrzut w formie aerozolu [129]. Dotychczas w kopalniach węgla kamiennego nie stosowano kombajnów ścianowych z powietrzno-wodną instalacją zraszającą. Strumienie aerozolu powietrzno-wodnego, wyrzucane z dysz rozmieszczonych wokół organu urabiającego, tworzyły szczelną kurtynę w strefie urabiania [111]. Miało to na celu uniemożliwienie przedostania się ewentualnego zapłonu metanu poza organ urabiający. W rozwiązaniu istotne były parametry geometryczne instalacji zraszającej oraz ukierunkowanie strumieni zraszających, dlatego zaproponowano umieszczenie powietrzno-wodnych dysz zraszających wzdłuż górnej krawędzi ramienia kombajnu (rys. 5.1). Kolejną istotną cechą rozwiązania było zasilanie, za pomocą niezależnych przewodów z wodą i sprężonym powietrzem dwuczynnika dysz zraszających na ramieniu kombajnu oraz zasilanie mieszaniną wody z powietrzem, jednoczynnikowych dysz zraszających, umieszczonych na organie urabiającym (rys. 5.2). Przewidziano zastosowanie mechanicznego mieszalnika wody i powietrza przed wprowadzeniem medium zraszającego do dysz, umieszczonych na organie urabiającym kombajnu ścianowego oraz rozwiązanie sposobu dostarczenia do nich wody i sprężonego powietrza, poprzez wymieszanie ich w mieszalniku i podanie jednym przewodem, w formie mieszaniny.



Rys. 5.1. Szkic powietrzno-wodnej instalacji zraszającej według patentu PL 199921 B1 [111]

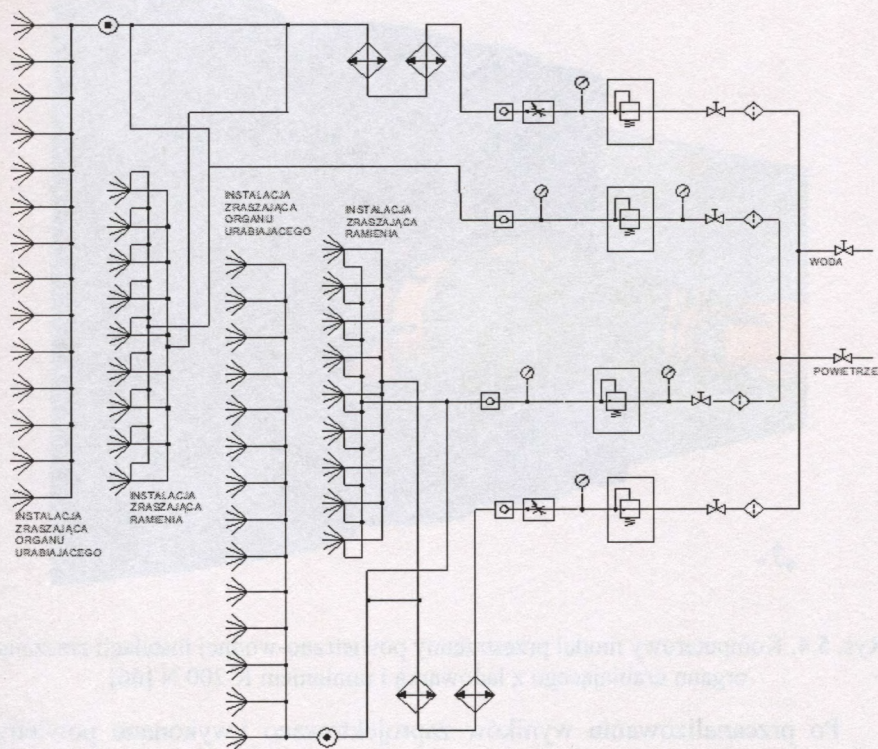


1-przewód główny wodny, 2-przewód główny sprężonego powietrza, 3-kombajn ścianowy, 4-organ urabiający, 7-dwuczynnikowe dysze zraszające, 8-ramię kombajnu, 9-dysze wodne, 10-płaty ślimaka organu urabiającego, 11-tarcza odcinająca organu urabiającego, 12-mieszalnik, 13-przewód sprężonego powietrza, 14-przewód wodny, 15-przewód z mieszaniną powietrzno-wodną

Rys. 5.2. Szkic powietrzno-wodnej instalacji zraszającej według wzoru użytkowego PL 66115 Y1 [129]

Koncepcja powietrzno-wodnego systemu zraszania, opracowana w ramach projektu celowego [66] zakładała, że na ramionach kombajnu będą rozmieszczone dwuczynnikowe dysze zraszające, do których będą dostarczone

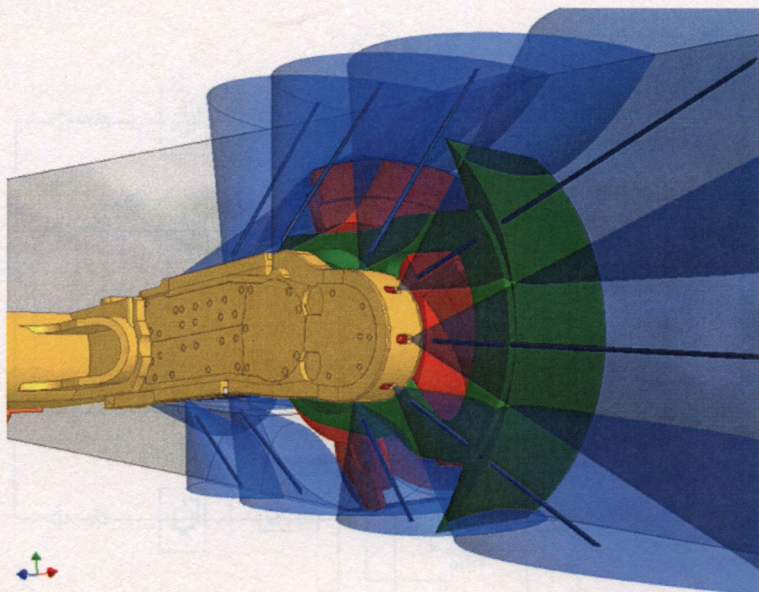
niezależnymi przewodami: woda i sprężone powietrze a do dysz organu urabiającego: woda i sprężone powietrze będą dostarczone, jako mieszanina, wytworzona w mieszalniku (rys. 5.3). W rozwiązaniu tym przyjęto parametry zraszania, które nie wymagają zastosowania dodatkowych pomp zwiększających ciśnienie wody.



Rys. 5.3. Schemat instalacji powietrzno-wodnej kombajnu KSW-460NE z ramionami R-200N [66]

Na podstawie autorskiej koncepcji opracowano przestrzenne komputerowe modele instalacji (rys. 5.4) oraz jej makietę z ramieniem kombajnu i organem urabiającym (rys. 5.5), na której przeprowadzono badania funkcjonalności powietrzno-wodnej instalacji zraszającej [66]. Komputerowe modele przestrzenne umożliwiły określenie rozmieszczenia punktów montażu dysz i kierunku ich strumieni, a badania z użyciem makiety umożliwiły weryfikację przyjętych założeń. Badania te pozwoliły na wizualną ocenę parametrów

strumieni zraszających: intensywności, zasięgu, jednorodności i ich ciągłości przy kombinacji wartościach ciśnienia wody i sprężonego powietrza od 0,29 MPa do 0,41 MPa. Podczas badań zaobserwowano spadek wartości ciśnienia pomiędzy początkiem przewodu zasilającego a dyszami, wynoszący ok. 0,1 MPa.

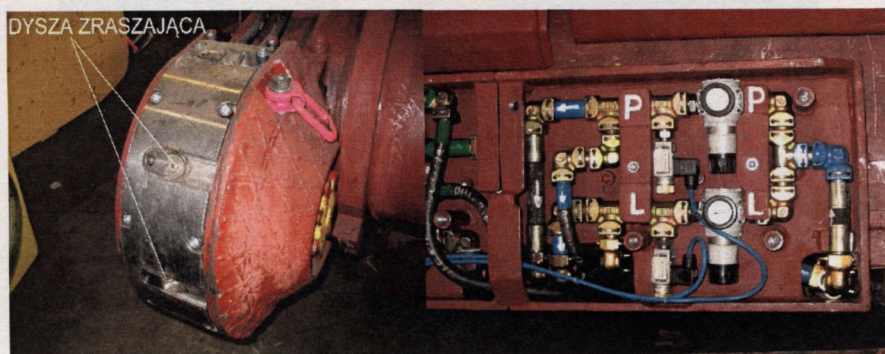


Rys. 5.4. Komputerowy model przestrzenny powietrzno-wodnej instalacji zraszającej organu urabiającego z ładowarką i ramieniem R-200 N [66]

Po przeanalizowaniu wyników zaprojektowano i wykonano powietrzno-wodną instalację zraszającą (rys. 5.6), przeznaczoną do ramion R-200N kombajnu KSW-460NE produkcji ZZM S.A (obecnie KOPEX S.A.) [78].



Rys. 5.5. Widok modelu (makiety) organu urabiającego z ramieniem i powietrzno-wodną instalacją zraszającą [66]



a)

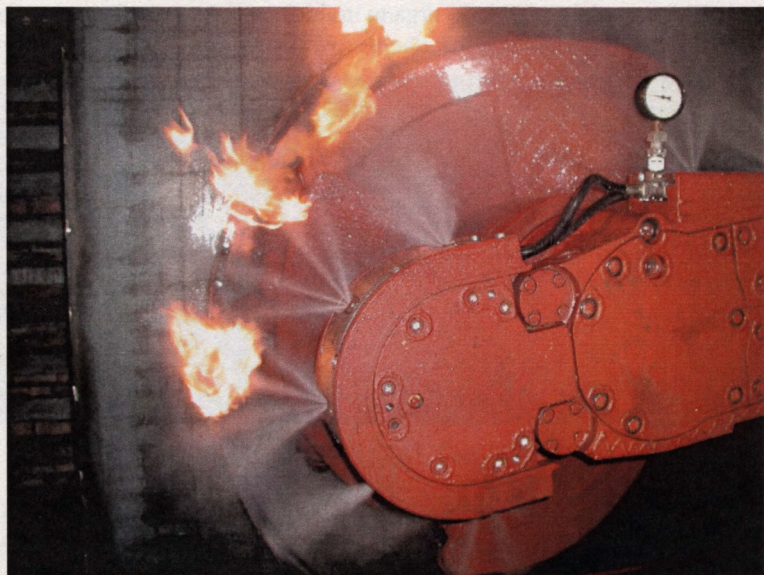
b)

Rys. 5.6. Widok elementów instalacji zraszającej kombajnu ścianowego KSW-460NE:
a) baterie dysz na ramieniu, b) układ sterowania i kontroli instalacji [7, 74]

Skuteczność powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w zakresie ograniczenia możliwości powstania zapłonu gazu i możliwości gaszenia go, badano w warunkach Kopalni Doświadczalnej Barbara. Badania wykazały pełną

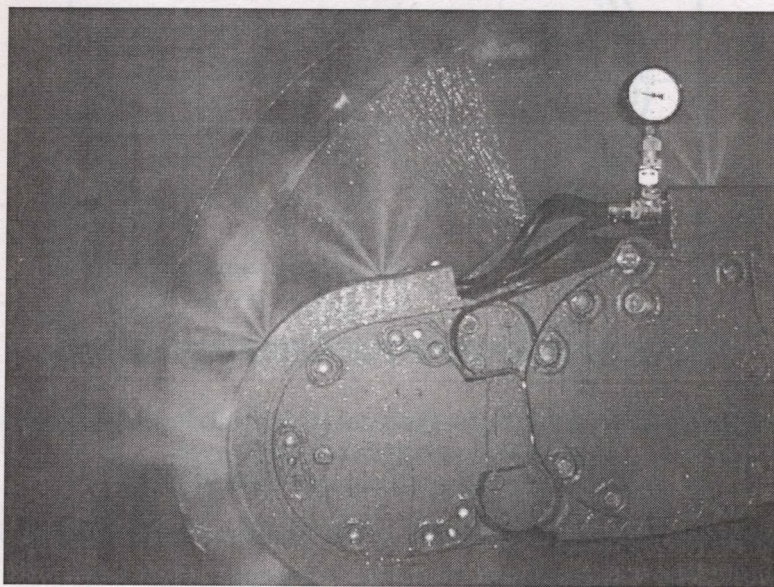
skuteczność instalacji w zakładanym zakresie stosowania (ciśnienie wody i sprężonego powietrza 0,4 MPa).

Badania skuteczności ograniczania możliwości powstania zapłonu metanu polegały na wywoływaniu próby zapłonu środkami strzałowymi palnej atmosfery, którą stanowiła mieszanina powietrza z gazem propan-butan, dozowanym w okolice organu urabiającego, z natężeniem $20 \text{ dm}^3/\text{min}$. Podczas prób, po osiągnięciu przez powietrzno-wodną instalację zraszającą założonych parametrów zasilania, wywoływano zapłon dwiema iskrami o energii zapłonu 10 kJ każda (rys. 5.7). Każdą z prób powtarzano trzykrotnie. Badania umożliwiły określenie minimalnych wartości parametrów zasilania instalacji zraszającej, przy których nie następował zapłon gazu. W wyniku badań ustalono ciśnienie każdego z mediów o wartości nie mniejszej niż $0,39 \text{ MPa}$, przy których nie następowało powstanie zapłonu gazu podczas każdej z prób. Pozytywny wynik badań był warunkiem do zastosowania rozwiązania w podziemiach kopalń.



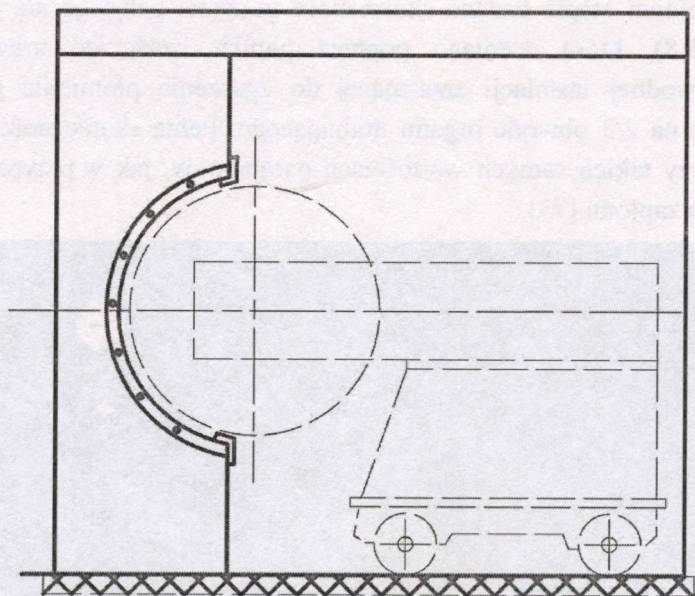
Rys. 5.7. Kombajn ścianowy KSW-460NE podczas prób tłumienia zapłonu palnej mieszaniny gazowej, wywołanego środkami strzałowymi, za pomocą zraszania powietrzno-wodnego [75]

W kolejnym etapie badano skuteczność gaszenia palącego się płomienia gazu (rys. 5.8), którą oceniano poprzez pomiar czasu od uruchomienia powietrzno-wodnej instalacji zraszającej do zgaszenia płomienia gazowego palącego się na 2/3 obwodu organu urabiającego. Pełną skuteczność gaszenia uzyskano przy takich samych wartościach parametrów, jak w przypadku prób ograniczania zapłonu [75].



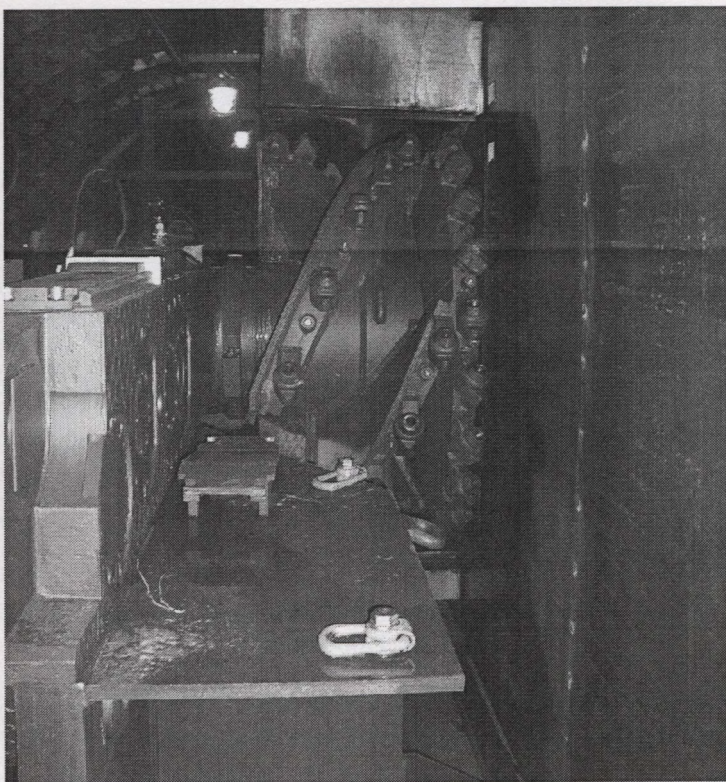
Rys. 5.8. Kombajn ścianowy KSW-460NE podczas prób gaszenia palnej mieszaniny gazowej, za pomocą zraszania powietrzno-wodnego [74, 75, 53]

W Instytucie KOMAG zaprojektowano oryginalne rozwiązanie stanowiska badawczego [38] (rys. 5.9). Było ono odwzorowaniem, w formie modelu, zawrębnego ociosu węglowego, z określonymi powierzchniami i płaszczyznami [128]. Część walcową stanowiska, odwzorowującą zagłębienie organu urabiającego w caliznie węglowej, wyposażono w przesuwne palniki do symulacji wydobywających się z calizny płomieni metanu, zainicjowanych iskreniem noży urabiających. W rozwiązaniu uwzględniono możliwość przeprowadzenia badań instalacji zraszających kombajnów chodnikowych i ścianowych.



Rys. 5.9. Szkic stanowiska do badań skuteczności działania instalacji zraszających kombajnów ścianowych i chodnikowych według zgłoszenia wynalazczego P.389630 [128]

Stanowisko badawcze wykonano w KD Barbara, gdzie przeprowadzono próby pierwszego egzemplarza ramienia kombajnu ścianowego z organem urabiającym, wyposażonego w powietrzno-wodną instalację zraszającą [78, 52]. Stanowisko wykonano z blach zespawanych w pożądaną kształt (rys. 5.10), a przesuwny palnik wykonano z rury umieszczonej w przewodniku. Uniwersalność stanowiska spowodowała wykorzystanie go przez KD Barbara do badań kombajnów ścianowych i chodnikowych.



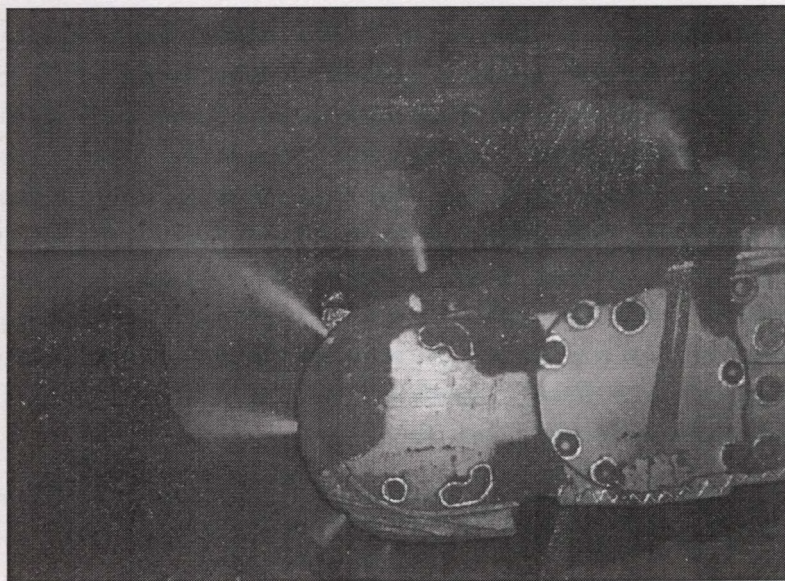
Rys. 5.10. Kombajn ścianowy KSW-460NE na stanowisku do badań skuteczności działania instalacji zraszających kombajnów ścianowych i chodnikowych [53, 78]

Po przeprowadzeniu procesu certyfikacyjnego w 2006 roku, doświadczalny egzemplarz kombajnu KSW-460NE, z powietrzno-wodną instalacją zraszającą na ramionach, został zastosowany w KWK Pniówek, gdzie po testach na powierzchni (rys. 5.11) i przeszkoleniu załogi w obsłudze instalacji zraszającej i kombajnu, został umieszczony w ścianie W-9.



Rys. 5.11. Kombajn ścianowy KSW-460NE podczas testów instalacji zraszającej w KWK Pniówek [78]

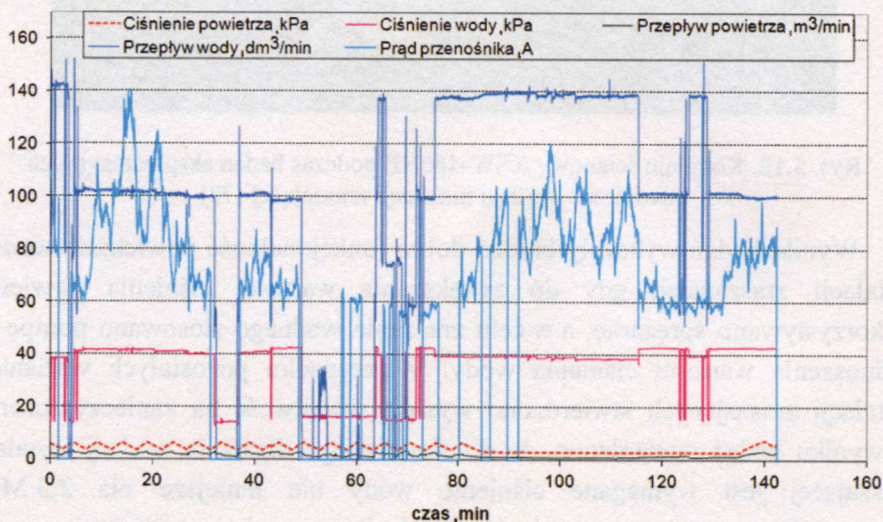
Podczas eksploatacji ściany W-9, specjaliści z ITG KOMAG, pod nadzorem służb kopalnianych i zgodnie z autorską metodyką badań, prowadzili badania powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, mające na celu określenie prawidłowych parametrów zasilania instalacji zraszającej oraz jej ocenę w zakresie skuteczności redukcji pyłu w powietrzu [78]. W związku z tym przeprowadzono pomiary stężenia pyłu w ścianie podczas stosowania powietrzno-wodnej instalacji zraszającej (powietrze dostarczane do instalacji sprężano sprężarką umiejscowioną w chodniku) (rys. 5.12) i typowej wodnej instalacji zraszającej, zainstalowanej alternatywnie w kombajnie ścianowym, wykorzystującej pompy podnoszące ciśnienie wody. Skuteczność redukcji pyłu badano również przy zastosowaniu powietrzno-wodnej i wodnej instalacji zraszającej, zasilanej z rurociągów kopalnianych, bez dodatkowego podnoszenia wartości ciśnienia mediów zraszających [78].



Rys. 5.12. Kombajn ścianowy KSW-460NE podczas badań eksploatacyjnych powietrzno-wodnej instalacji zraszającej [78]

Wyniki badań wykazały bardzo dobrą funkcjonalność powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, gdy do zwiększania wartości ciśnienia powietrza wykorzystywano sprężarkę, a w celu zraszania wodnego stosowano pompę do podnoszenia wartości ciśnienia wody. W przypadku pozostałych wariantów instalacji zraszających stwierdzono wysoką wrażliwość na zanieczyszczenia. W wyniku badań stwierdzono, że do skutecznego działania wodnej instalacji zraszającej jest wymagane ciśnienie wody nie mniejsze niż 2,3 MPa. W przypadku powietrzno-wodnej instalacji zraszającej ciśnienie wody w dyszach ramienia kombajnu powinno być nie mniejsze niż 0,5 MPa, a w dyszach organu urabiającego - co najmniej 1,5 MPa. Ciśnienie sprężonego powietrza powinno wynosić nie mniej niż 0,4 MPa. Przy stosowaniu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, całkowite natężenie przepływu wody zraszającej wynosiło $90 \div 95 \text{ dm}^3/\text{min}$, a w przypadku wodnej instalacji zraszającej $135 \div 200 \text{ dm}^3/\text{min}$ [78]. Po badaniach w ścianie W-9 i dokonaniu niezbędnych zmian konstrukcyjnych, instalację zraszającą ponownie zainstalowano na kombajnie KSW-460NE, pracującym w ścianie W-10 w KWK Pniówek, a po jej

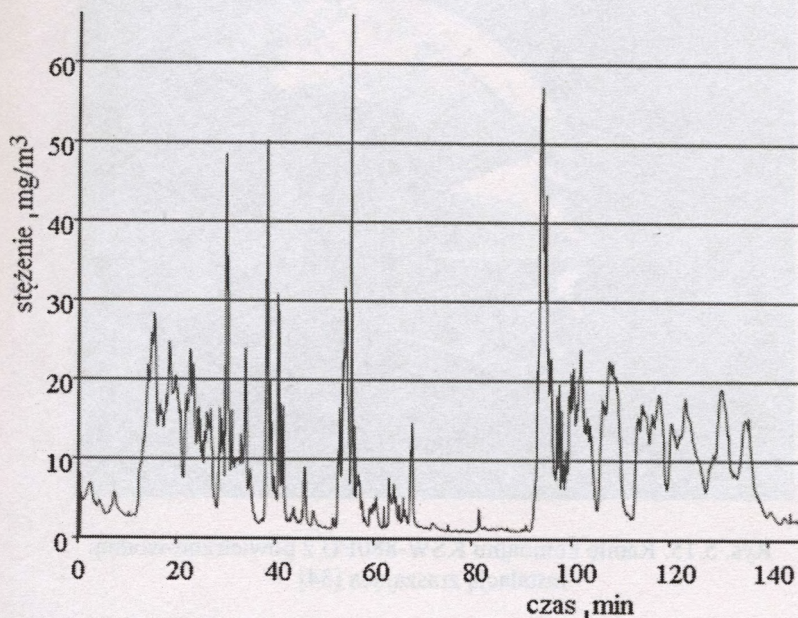
wyeksplotowaniu – w ścianie W-8. Po wyeliminowaniu wszystkich niedoskonałości badanej instalacji zraszającej zabudowanej na kombajnie KSW-460NE, osiągnięto wysoki poziom niezawodności jej działania. Istotnym czynnikiem, sprzyjającym zastosowaniu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, zamiast typowej wodnej były odczucia załogi, co do skuteczności redukcji zapylenia i osiągniętej poprawy warunków pracy. Kolejnym efektem było zmniejszenie zużycia wody o około 40%. W ścianach W-10 i W-8 zastosowanie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, przy założonych parametrach mediów zraszających, pozwoliło na obniżenie stężenia pyłu o około 30%, w szczególności frakcji respirabilnej (rys. 5.13 i rys. 5.14). Wyniki badań przedstawiono w publikacjach: [76, 78].



Rys. 5.13. Parametry instalacji zraszającej kombajnu KSW-460NE podczas badań w ścianie W-10 [66]

Kombajn KSW-460NE z powietrzno-wodną instalacją zraszającą eksploatowano w KWK Pniówek od 2006 r. do 2010 r., do fizycznego zużycia. Rozwiązanie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej uzyskało nagrodę Ministra Pracy i Polityki Społecznej II stopnia w Ogólnopolskim Konkursie Poprawy Warunków Pracy w 2007 r. Na międzynarodowej wystawie wynalazków IWIS w 2008 r. uhonorowano również złotymi medalami

z wyróżnieniem oraz Dyplomami Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w 2009 r. wynalazki: Instalacja ciśnieniowa powietrzno-wodna kombajnu górniczego [111] oraz System zraszania kombajnu węglowego [129].

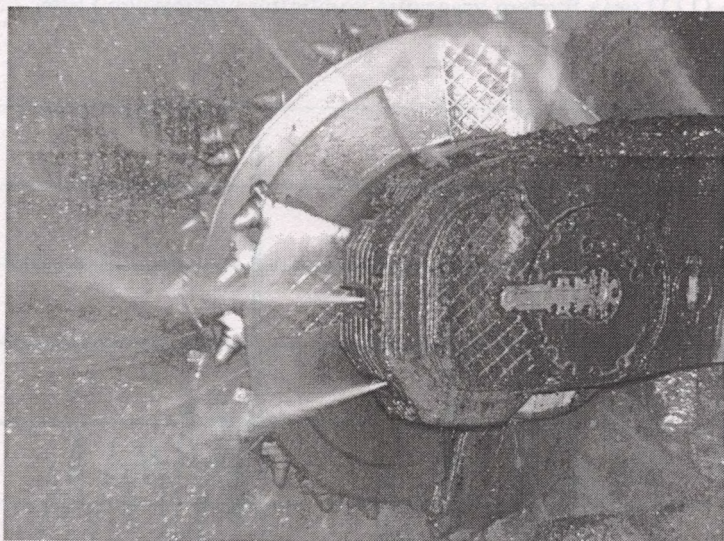


Rys. 5.14. Zmiany stężenia frakcji respirabilnej pyłu na skrzyżowaniu ściany W-10 z chodnikiem wentylacyjnym [66]

Kontynuowane w tym zakresie prace przyniosły efekty w postaci opracowania powietrzno-wodnych instalacji zraszających do kolejnych typów kombajnów ścianowych: KSW-880EU, KSW-1140EU, KSW-1500EU [67, 68]. Łącznie wdrożono je w ponad 30 kombajnach ścianowych, z czego 25 kombajnów w 11 polskich kopalniach, 3 w Chinach, 2 w Rosji oraz 1 w Argentynie. W 2017 r. opracowano rozwiązania powietrzno-wodnych instalacji zraszających do trzech typów kombajnów produkcji FAMUR S.A.

Równoległe z pracami wdrożeniowymi realizowano badania „in situ”, w celu oceny skuteczności redukcji zapylenia powietrza, poprzez zastosowanie powietrzno-wodnych instalacji zraszających. Badaniom poddano m.in. kombajn

ścianowy KSW-880EU, wyposażony w powietrzno-wodną instalację zraszającą, zlokalizowany w ścianie w KWK Budryk (rys. 5.15) [54].

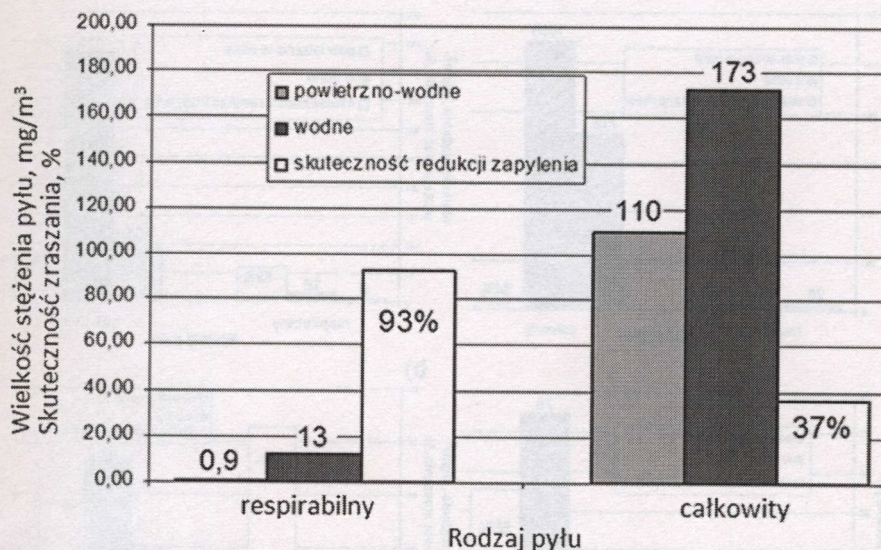


Rys. 5.15. Ramię kombajnu KSW-880EU z powietrzno-wodną instalacją zraszającą [54]

Pomiary zapylenia wykonywano podczas urabiania w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu powietrza, w ścianie o długości około 250 m i wysokości około 2,0 m. Mierzono wielkość zapylenia wytwarzanego przez kombajn podczas stosowania powietrzno-wodnej i wodnej instalacji zraszającej. Pomiary wykonywano na stanowisku kombajnisty za pomocą osobistych pyłomierzy grawimetrycznych CIP-10I (do pomiaru pyłu całkowitego) i CIP 10R (do pomiaru frakcji respirabilnej pyłu). W czasie postoju kombajnu pyłomierze wyłączano. Czas trwania pomiarów wynosił co najmniej 75% czasu trwania zmiany roboczej. Wyniki z pomiarów masy pyłu pozwoliły na obliczenie średniego stężenia pyłu w danym punkcie pomiarowym.

W przypadku stosowania powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, pomiary wykazały występowanie stężenia pyłu całkowitego o wartości 110 mg/m^3 oraz około $0,9 \text{ mg/m}^3$ w odniesieniu do frakcji respirabilnej pyłu. Podczas stosowania wodnej instalacji zraszającej wykazano występowanie stężenia pyłu całkowitego o wartości 173 mg/m^3 oraz 13 mg/m^3 w odniesieniu do

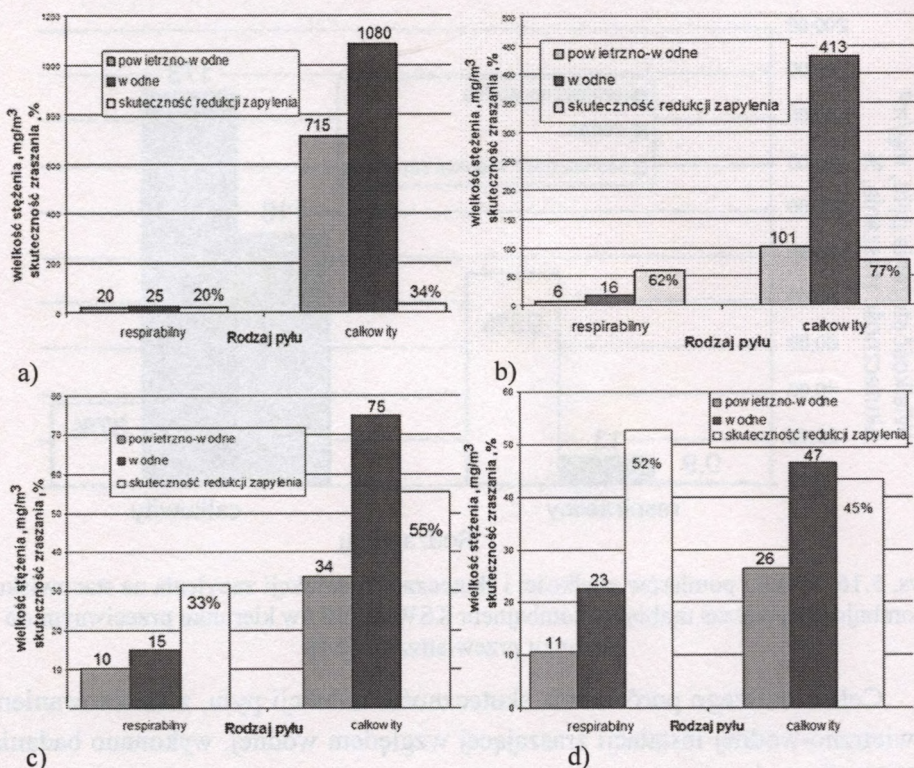
frakcji respirabilnej pyłu (rys. 5.16). Powyższe wartości wskazują jednoznacznie, że zastosowanie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej jest skuteczniejsze w redukcji pyłu od zraszania wodnego. Stężenie frakcji respirabilnej pyłu unoszącego się w powietrzu było mniejsze o ponad 90%, a stężenia pyłu całkowitego o 37% [54].



Rys. 5.16. Wyniki pomiarów wielkości i skuteczności redukcji zapylenia na stanowisku kombajnisty podczas urabiania kombajnem KSW-880EU w kierunku przeciwnym do kierunku przewietrzania [54]

Celem dalszego porównania skuteczności redukcji pyłu, z zastosowaniem powietrzno-wodnej instalacji zraszającej względem wodnej, wykonano badania w KWK Budryk w kolejnej ścianie podczas pracy kombajnu KSW-880EU [55]. Pomiary zapylenia mierzono na wylocie ze ściany i na stanowisku kombajnisty, w obu kierunkach urabiania. Wyniki pomiarów wykazały, że stosowanie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej (w stosunku do zraszania wodnego) cechuje większa skuteczność redukcji pyłu w obu kierunkach urabiania, zarówno na stanowisku kombajnisty, jak i na wylocie ściany (od strony wypływu zużytego powietrza ze ściany). Pomiary wykazały, że na stanowisku kombajnisty jest obserwowane znacznie większe stężenie pyłu w kierunku urabiania przeciwnym do kierunku przewietrzania. Większą skuteczność redukcji pyłu z zastosowaniem

powietrzno-wodnej instalacji zraszającej osiągnąć w kierunku urabiania zgodnym z kierunkiem przewietrzania (rys. 5.17 a i b). Na wylocie ściany zaobserwowano porównywalne stężenie pyłu podczas urabiania w obu kierunkach, wykazując każdorazowo większą skuteczność redukcji zapylenia przy stosowaniu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej (rys. 5.17 c i d) [55].

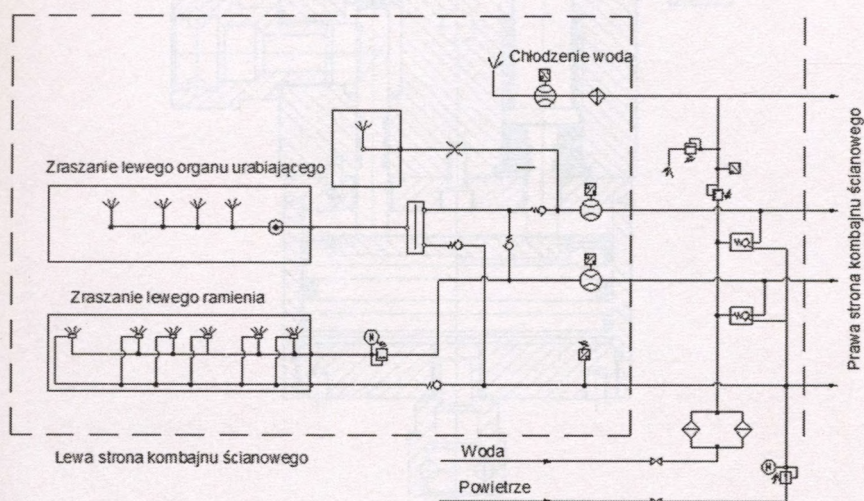


Rys. 5.17. Wyniki pomiarów wielkości i skuteczności redukcji zapylenia w ścianie podczas urabiania kombajnem KSW-880EU [55]:

- a) na stanowisku kombajnisty, w kierunku urabiania przeciwnym do kierunku przewietrzania, b) na stanowisku kombajnisty, w kierunku urabiania zgodnym z kierunkiem przewietrzania, c) na wylocie ściany, w kierunku urabiania przeciwnym do kierunku przewietrzania, d) na wylocie ściany, w kierunku urabiania zgodnym z kierunkiem przewietrzania

W wyniku prac badawczych zaobserwowano, że częstą przyczyną przestojów są przerwy w dostawie sprężonego powietrza, co wymuszało zatrzymanie pracy kombajnu i przełączanie instalacji zraszającej z powietrzno-

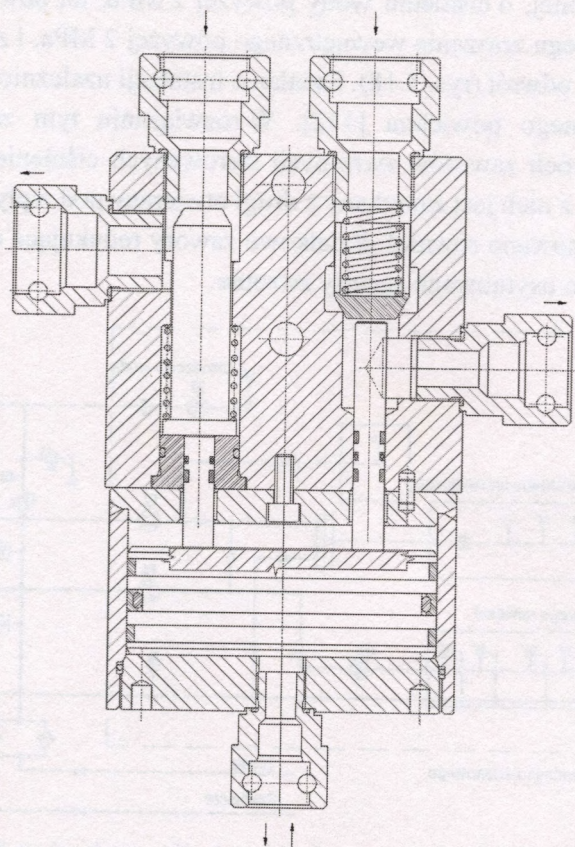
wodnej na wodną. Aby rozwiązać ten problem, w niektórych egzemplarzach kombajnu KSW-460NE zaproponowano samoczynne przesterowanie instalacji zraszającej z wodnej, o ciśnieniu wody powyżej 2 MPa, na powietrzno-wodną o ciśnieniu w obiegu zraszania wewnętrznego powyżej 2 MPa, i zewnętrznego - ok. 0,5 MPa, i na odwrót (rys. 5.18). Działanie instalacji uzależniono od wartości ciśnienia sprężonego powietrza [112]. W rozwiązaniu tym zaproponowano zastosowanie dwóch zaworów zwrotnych sterowanych ciśnieniem sprężonego powietrza. Jeden z nich jest zamykany a drugi otwierany pod wpływem ciśnienia powietrza. Zastosowano również dodatkowe zawory redukujące ciśnienie wody oraz odpowiednio usytuowane zawory zwrotne.



Rys. 5.18. Schemat powietrzno-wodnej instalacji zraszającej według patentu PL 215177 B1 [112]

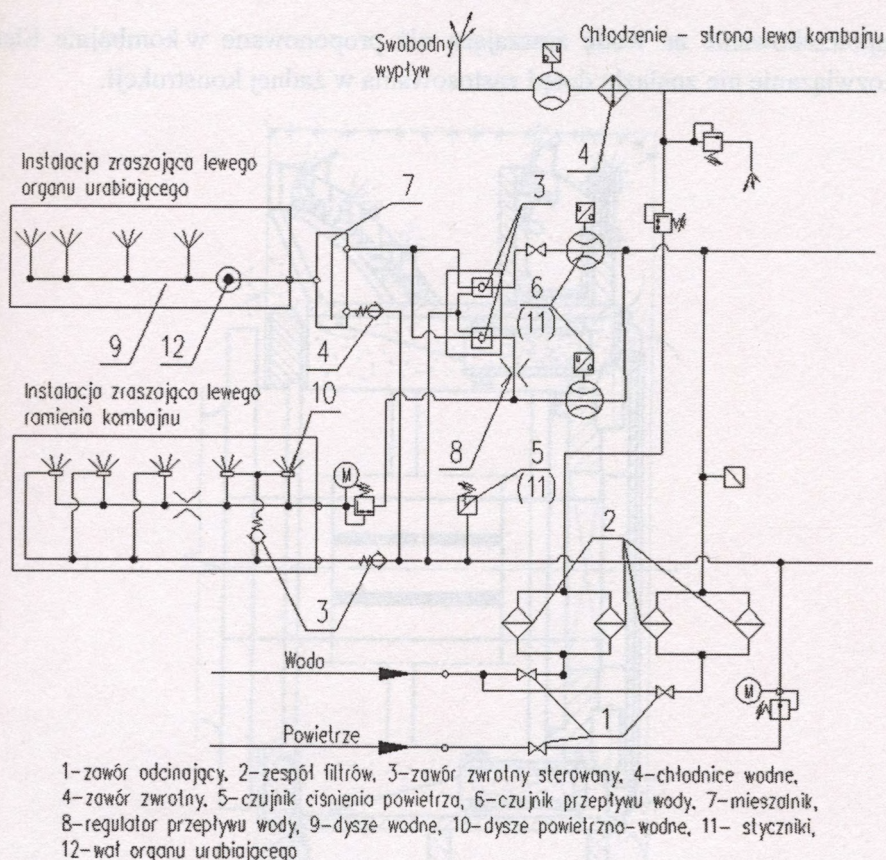
Podobnego typu rozwiązanie zastosowano w kombajnie KSW-880EU, gdzie w powietrzno-wodnej instalacji zraszającej zabudowano innowacyjną konstrukcję zespolonego zaworu zwrotnego (rys. 5.19). Innowacja polegała na wykonaniu w jednym korpusie dwóch zaworów zwrotnych, sterowanych popychaczami osadzonymi na wspólnym tłoku. Podczas zamykania jednego z zaworów następowało otwieranie drugiego [147]. Zawór umożliwiał zamknięcie dopływu wody zraszającej działającej w trybie zraszania powietrzno-

wodnego i otwarcie dopływu wody zraszającej działającej w trybie zraszania wodnego.



Rys. 5.19. Zespół zaworów zwrotnych według patentu PL 216496 B1 [147]

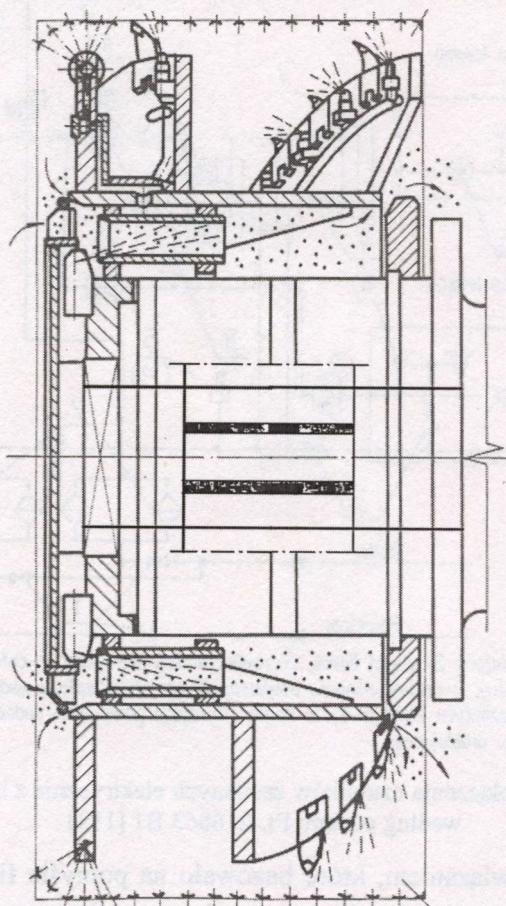
W kombajnie KSW-1500EU, przeznaczonym na rynki zagraniczne (5 egzemplarzy), zaproponowano zastosowanie czujników natężenia przepływu i ciśnienia z nastawami minimalnych parametrów obydwu wariantów zraszania: wodnego i powietrzno-wodnego [113], w zależności od wybranego wariantu (rys. 5.20). W rozwiązaniu zastosowano zespół zaworów zwrotnych oraz ogranicznik przepływu wody, umożliwiający efektywne zraszanie z ramion kombajnu, niezależnie od typu zraszania.



Rys. 5.20. Schemat połączenia czujników zasilanych elektrycznie z instalacją zraszającą według patentu PL 216863 B1 [113]

Kolejnym rozwiązaniem, które bazowało na pomysły firmy Electra [15], była propozycja wprowadzania mieszaniny powietrzno-wodnej do tulei umieszczonych wokół piasty organu urabiającego, w celu zasysania pyłu wytwarzanego w procesie urabiania [118]. Tuleje te łączą obie powierzchnie walcowe organu urabiającego i mają zamocowane dysze powietrzno-wodne, wytwarzające strumienie skierowane w kierunku zastawek przenośnika (rys. 5.21). Takie podejście umożliwia objęcie strumieniem zraszającym większości wytwarzanego pyłu, zwilżenie go i umieszczenie na przenośniku zgrzeblowym. Równocześnie, rozwiązanie cechuje znacznie mniejsze

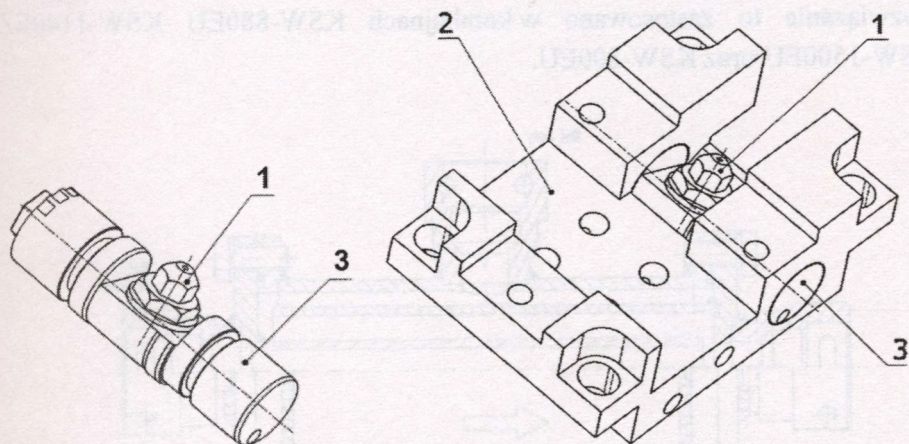
zapotrzebowanie na wodę zraszającą niż proponowane w kombajnie Electra. Rozwiązanie nie znalazło dotąd zastosowania w żadnej konstrukcji.



Rys. 5.21. Organ urabiający według patentu PL 210667 B1 [118]

Stosowanie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej zakłada objęcie szczelną kurtyną organu urabiającego. Dysze zraszające umieszczone w ramieniu kombajnu są skierowane optymalnie, tak aby strumienie w niewielkiej części przekroju nachodziły na siebie. W przypadku kombajnów ścianowych KSW- 880EU oraz KSW-1140EZ, gdzie można stosować organy urabiające o znacząco różnych średnicach, wymagane było zastosowanie rozwiązania, które

umożliwiało łatwą modyfikację ustawienia dysz. Problem rozwiązano poprzez obrotowe umiejscowienie obsady dyszy zraszającej w kadłubie mocowanym na ramieniu kombajnu [114]. Oś obrotu jest prostopadła do osi dyszy, umożliwiając wychylanie osi strumienia zraszającego (rys. 5.22). W rozwiązaniu przewidziano wprowadzenie obu mediów do dyszy przez współpracujące obrotowo elementy.

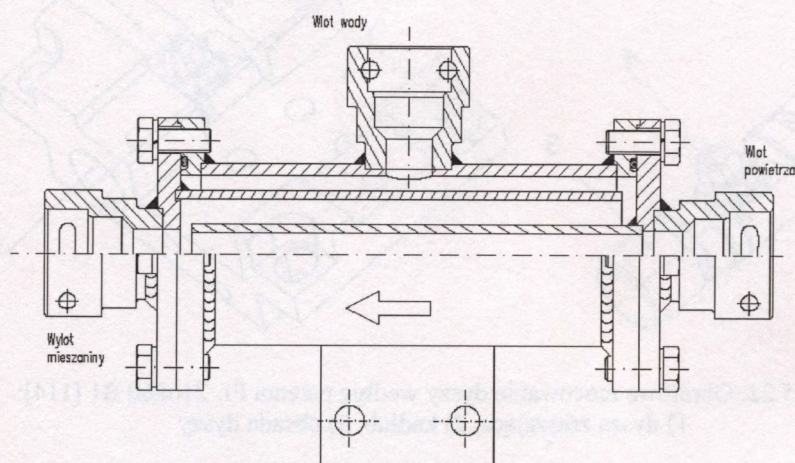


Rys. 5.22. Obrotowe mocowanie dyszy według patentu PL 216860 B1 [114]:

1) dysza zraszająca, 2) kadłub, 3) obsada dyszy

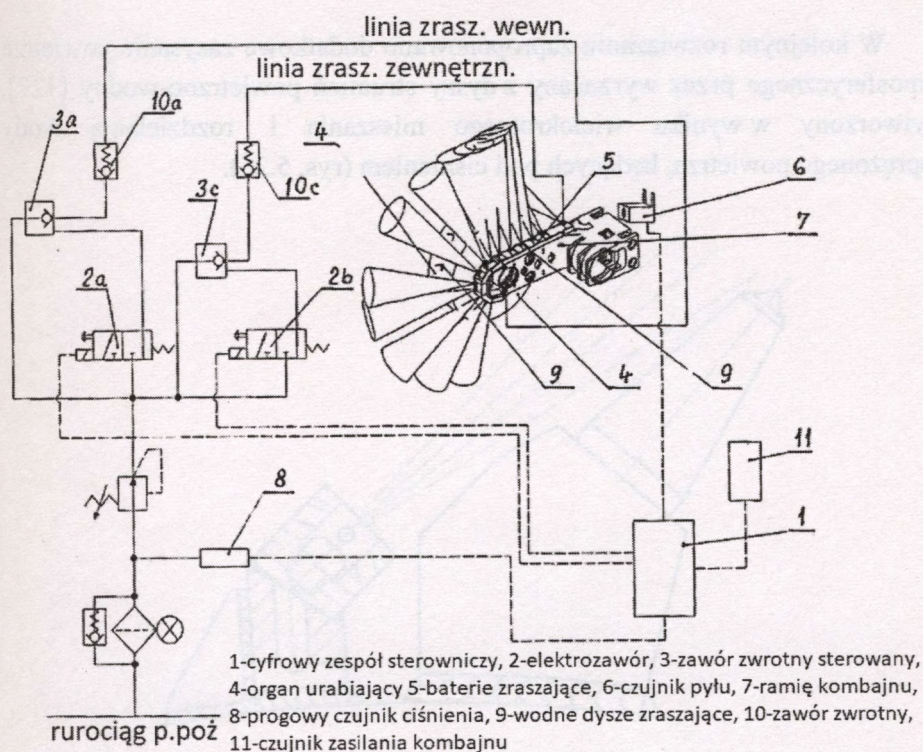
Doskonalona wraz z kolejnymi aplikacjami instalacja zraszania powietrzno-wodnego przyniosła efekty w postaci wzrostu bezpieczeństwa pracy wobec zapłonu i wybuchu metanu. Przy stosowaniu tego typu zraszania nie nastąpił dotąd żaden przypadek zapłonu metanu w ścianie. Sprawilo to, że kombajny wyposażone w tego typu powietrzno-wodną instalację zraszającą są chętnie stosowane przez kopalnie. Inną, niewątpliwą korzyścią z zastosowania tego typu instalacji, jest wzrost skuteczności redukcji zapylenia generowanego w procesie urabiania. W powietrzno-wodnej instalacji zraszającej zamontowanej na organie urabiającym nie ma tak widocznego efektu zraszania, gdyż mieszanina powietrzno-wodna przygotowywana jest w mieszalniku, jeszcze przed wprowadzeniem jej do organu urabiającego a dalej do dysz zraszających. Obniżenie wartości ciśnienia w zraszaniu organu kombajnu do 0,5 MPa (tak jak w dyszach na ramieniu kombajnu) powodowało zatykanie się dysz zraszających, natomiast podwyższanie wartości ciśnienia do wartości 2 MPa, gwarantującego

drożność dysz, przy ciśnieniu powietrza około 0,4 MPa uniemożliwiało doprowadzenie sprężonego powietrza do dysz organu urabiającego. W celu rozwiązania tego problemu zaprojektowano mieszalnik wody i sprężonego powietrza o labiryntowej budowie kanałów (rys. 5.23), gdzie założono kołowy przekrój mieszalnika oraz perforację w jednej z rur wewnątrz mieszalnika [117]. Rozwiązanie to zastosowano w kombajnach KSW-880EU KSW-1140EZ, KSW-1500EU oraz KSW-800EU.



Rys. 5.23. Mieszalnik do powietrzno-wodnych instalacji zraszających według patentu PL 221058 B1 [117]

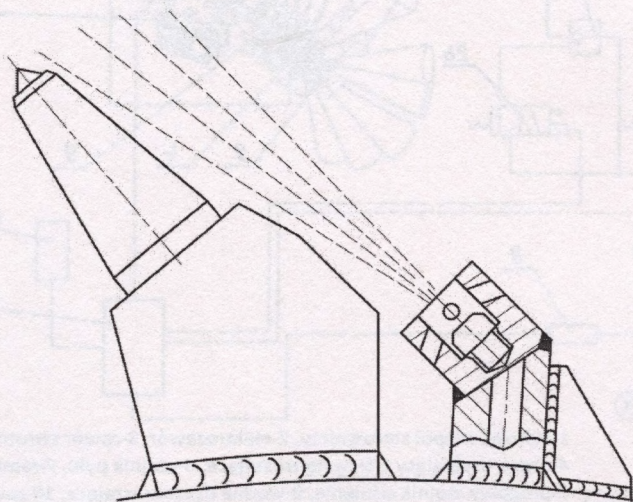
Wśród opracowanych rozwiązań znajduje się również niewdrożony z powodu braku zainteresowania kopalń układ automatycznego zraszania górniczych maszyn urabiających i ładujących [131]. Zaproponowano w nim zastosowanie optycznego czujnika pyłu, zintegrowanego z bateriami zraszania zewnętrznego i z systemem sterowania. Czujnik pyłu wysyła odpowiednią informację do systemu sterowniczego o poziomie zapylenia, a ten powoduje uruchomienie elektrozaworów lub regulatorów przepływu, zwiększając lub zmniejszając intensywność zraszania. W rozwiązaniu zaproponowano wariant ze zraszaniem wodnym (rys. 5.24) oraz powietrzno-wodnym. Opisano również warianty przeznaczone do kombajnu chodnikowego.



Rys. 5.24. Schemat układu automatycznego zraszania górniczych maszyn urabiających i ładujących według patentu PL 222502 B1 [131]

W jednym z rozwiązań zaproponowano dostarczenie wody i sprężonego powietrza wspólnym przewodem, w dalszej kolejności rozdzielanie tych mediów, a następnie ponowne ich wymieszanie już w kombajnie przed organem urabiającym, w mieszalniku lub w dyszach dwuczynnikowych [123]. Takie podejście umożliwia ograniczenie liczby przewodów doprowadzających media, tam gdzie zaistnieje taka potrzeba. Rozwiązanie jednak nie znalazło dotychczas zastosowania. Zaproponowano również wykorzystanie mieszaniny powietrzno-wodnej jako środka chłodzącego przekładnie i silniki kombajnu ścianowego, co uzasadniały przeprowadzone próby stanowiskowe w ramach współpracy ITG KOMAG i DFME DAMEL S.A.

W kolejnym rozwiązaniu zaproponowano dodatkowe zasysanie powietrza atmosferycznego przez wyrzucany z dyszy strumień powietrzno-wodny [127], wytworzony w wyniku wielokrotnego mieszania i rozdzielania wody i sprężonego powietrza, będących pod ciśnieniem (rys. 5.25).



Rys. 5.25. Zasysanie powietrza atmosferycznego przez strumień powietrzno-wodny według zgłoszenia wynalazczego P.392 829 [127]

W latach 2010÷2014 w ramach realizacji projektu INERG [50], realizowano również prace w zakresie powietrzno-wodnej instalacji zraszającej kombajnu ścianowego KSW-800NE. W projekcie przewidziano prace związane z opracowaniem nowej konstrukcji powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, montowanej na ramionach kombajnu oraz w organie urabiającym [93]. Istotą rozwiązania było wytworzenie mieszaniny powietrzno-wodnej przed doprowadzeniem mediów do organu urabiającego, którego ruch obrotowy zapewniał właściwe mieszanie wody ze sprężonym powietrzem. Po zbudowaniu tej instalacji przeprowadzono jej badania na stanowisku laboratoryjnym w Kopalni Doświadczalnej Barbara (rys. 5.26), w aspekcie skuteczności zapobiegania zapłonowi metanu, jak i gaszenia palącego się gazu kombajnu.

W ramach tych badań analizowano trzy warianty zraszania:

1. niskociśnieniowe, powietrzno-wodne,
2. niskociśnieniowe, powietrzno-wodne z ramienia i wysokociśnieniowe powietrzno-wodne z organu urabiającego,
3. wysokociśnieniowe, wodne.

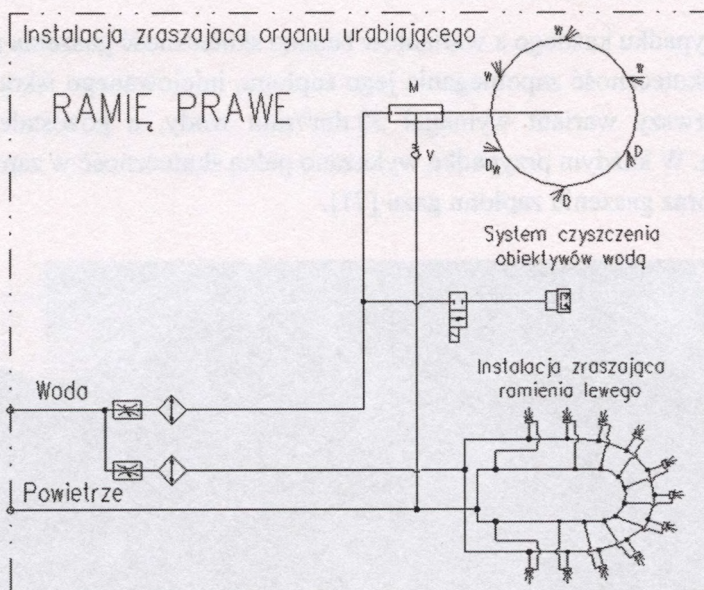
W przypadku każdego z wariantów badano skuteczność gaszenia płomienia gazu oraz skuteczność zapobiegania jego zapłonowi, inicjowanego iskrą o energii 10 kJ. Pierwszy wariant wymagał 30 dm³/min wody, a pozostałe dwa po 60 dm³/min. W każdym przypadku wykazano pełną skuteczność w zapobieganiu powstania oraz gaszeniu zapłonu gazu [71].



Rys. 5.26. Badania w warunkach KD Barbara powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, zabudowanej na kombajnie KSW-800NE [71]

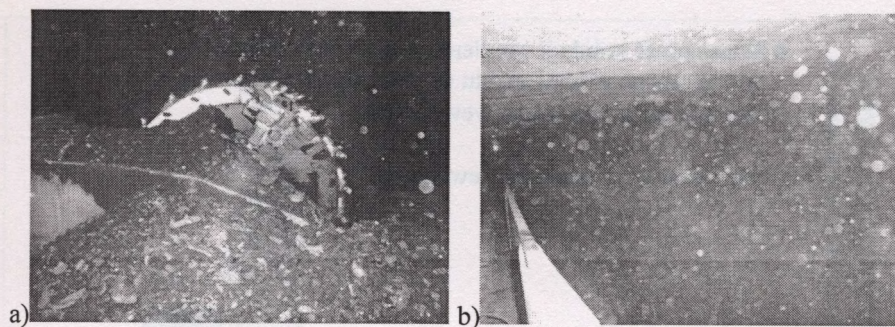
Po wykonaniu badań i przeprowadzeniu procedury certyfikacyjnej, kombajn ścianowy KSW-800NE dostarczono do KWK Murcki-Staszic, celem przeprowadzenia badań eksploatacyjnych. Dokonano oceny skuteczności redukcji pyłu z zastosowaniem zainstalowanej w kombajnie KSW-800NE instalacji zraszającej [92]. Prowadzono pomiary zapylenia przy dwóch wariantach zraszania: wodnego, z organu urabiającego oraz wodnego z organu

urabiającego i z ramienia, zgodnie ze schematem instalacji zraszającej, przedstawionym na rysunku 5.27 Natężenie przepływu wody w przypadku zraszania zanożowego (z organu urabiającego) wynosiło $40 \text{ dm}^3/\text{min}$ na jeden organ (wariant I), a przy zraszaniu z organu urabiającego, z dodatkowym zraszaniem z ramienia, wynosiło około $60 \text{ dm}^3/\text{min}$.



Rys. 5.27. Schemat powietrzno-wodnej instalacji zraszającej prototypowej wersji kombajnu KSW-800NE [92]

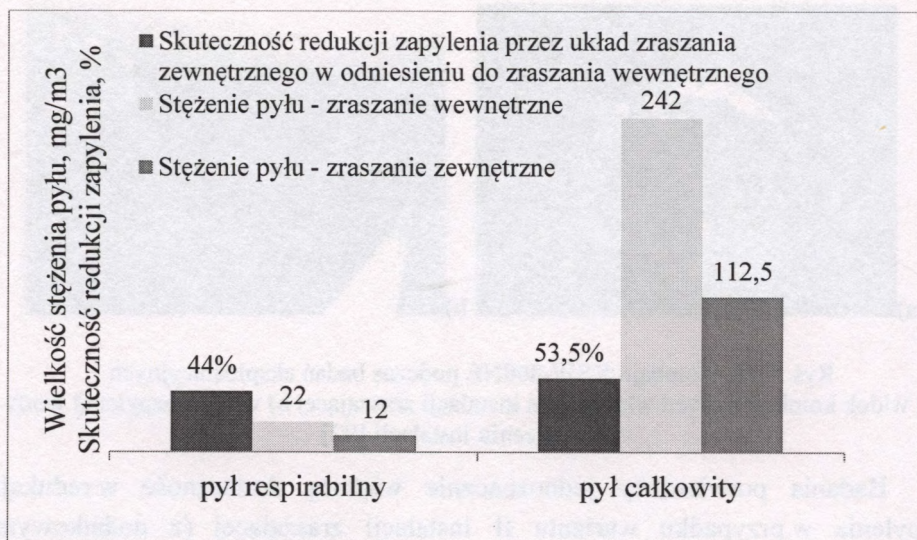
Pomiary stężenia pyłu były dokonywane za pomocą pyłomierzy grawimetrycznych CIP-10I i CIP-10R. Pyłomierze umieszczono w chodniku podścianowym, 10 m od wlotu do ściany, w chodniku nadścianowym, 10 m od wylotu ze ściany oraz na szyi kombajnisty. Pomiary prowadzono przy załączonej instalacji zraszającej (rys. 5.28). Skuteczność zraszania oceniano porównując stężenia pyłu zmierzone przy stosowaniu zastosowanych wariantów zraszania. Pomiary zapylenia prowadzono jedynie w czasie pracy kombajnu ścianowego.



Rys. 5.28. Kombajn KSW-800NE podczas badań eksploatacyjnych
a) widok kombajnu przed włączeniem instalacji zraszającej b) widok rozpylonej wody po włączeniu instalacji [92]

Badania potwierdziły jednoznacznie większą skuteczność w redukcji zapylenia w przypadku wariantu II instalacji zraszającej (z dodatkowym zraszaniem z ramienia), w przypadku pyłu całkowitego, jak i frakcji respirabilnej (rys. 5.29).

Przy stosowaniu II wariantu zraszania (z dodatkowym zraszaniem z ramienia), na stanowisku kombajnisty zarejestrowane stężenie frakcji respirabilnej pyłu było niższe o 44% w stosunku do zraszania wewnętrznego według wariantu I. Stężenie pyłu całkowitego było niższe o 53,5% również w wariantcie II.



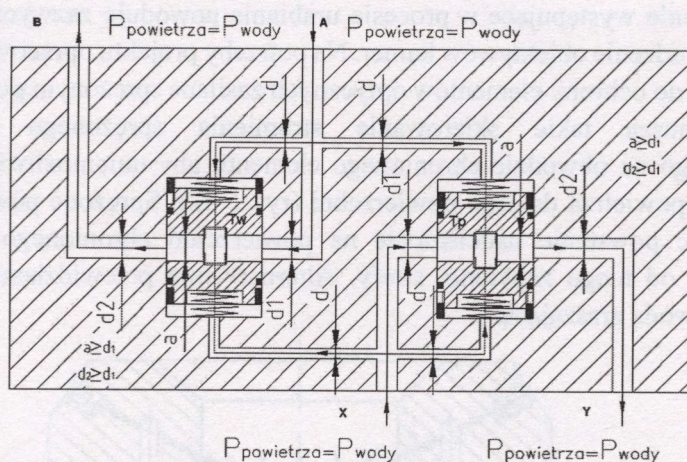
Rys. 5.29. Wielkość stężenia pyłu i ocena skuteczności zraszania na stanowisku kombajnisty, w kierunku urabiania zgodnym z kierunkiem przewietrzania [92]

Niezależnie od miejsca pomiaru czy kierunku urabiania, każdorazowo wykazywano większą skuteczność zraszania według wariantu II (z dodatkową baterią zraszającą), która wynosiła 6÷60%.

Najniższe stężenie pyłu całkowitego, około 39 mg/m^3 , uzyskano na wylocie ze ściany, przy zastosowaniu zraszania wewnętrznego, z dodatkowym zraszaniem zewnętrznym (wariant II) podczas urabiania w kierunku przeciwnym do przepływu powietrza. Najniższe stężenie frakcji respirabilnej pyłu, około 10 mg/m^3 , uzyskano na stanowisku kombajnisty, również w wariantcie II zraszania, przy urabianiu w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu powietrza.

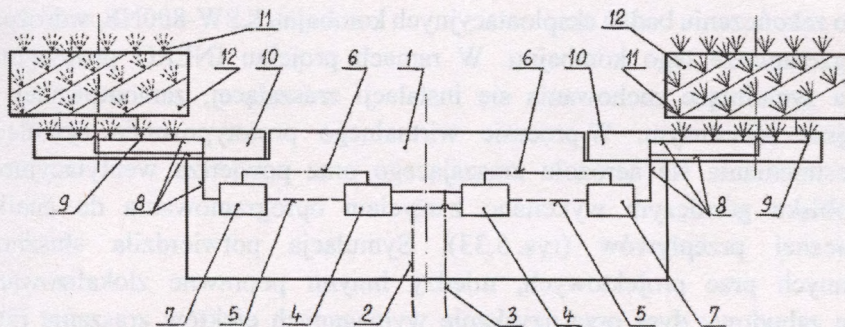
Podczas realizacji projektu opracowano mechaniczny zespół zaworowy [144]. Jego głównym zadaniem było wyrównywanie ciśnień wody i sprężonego powietrza lub utrzymywanie stałych proporcji ich ciśnień, w celu zapewnienia stabilnych parametrów pracy powietrzno-wodnej instalacji zraszającej. W rozwiązaniu przewidziano przepływ obu mediów przez jeden kadłub. Każde z mediów ma możliwość naporu na tłoczki i zmniejszenia przekroju przepływu tłoczkami dociskanyymi z jednej strony przez sprężone powietrze, a z drugiej przez wodę (rys. 5.30). W efekcie realizacji prac zamiast tego rozwiązania w instalacji zraszającej kombajnu zastosowano prostsze rozwiązanie w postaci

regulatorów przepływu, ograniczających natężenie przepływu wody do zadanej wartości.



Rys. 5.30. Zespół zaworów według patentu PL 216844 B1 [144]

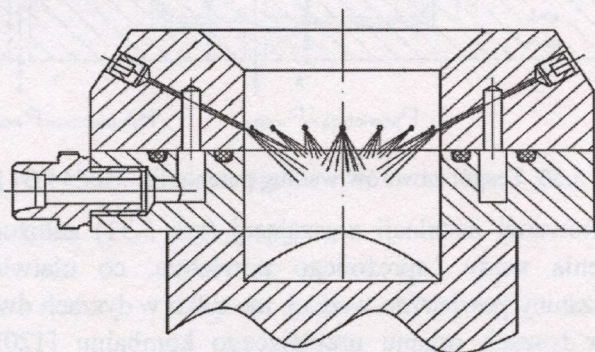
W projektowanej instalacji zraszającej (rys. 5.31) założono jednakową wartość ciśnienia wody i sprężonego powietrza, co ułatwia wytworzenie właściwej mieszaniny powietrzno-wodnej, nie tylko w dyszach dwuczynnikowych ale również w dyszach organu urabiającego kombajnu [120]. Zapewnienie utrzymania właściwych proporcji ciśnienia wody i sprężonego powietrza osiągnięto poprzez zastosowanie zespołu zaworów zwrotnych [144].



- 1- kombajn ścianowy, 2,3,5,6,8-przewody z mediami zraszającymi,
4-zespół zaworów równoważących ciśnienie, 7-mieszalnik, 9-dysze dwuczynnikowe,
10-ramię kombajnu, 11-dysze dwuczynnikowe, 12-organ urabiający

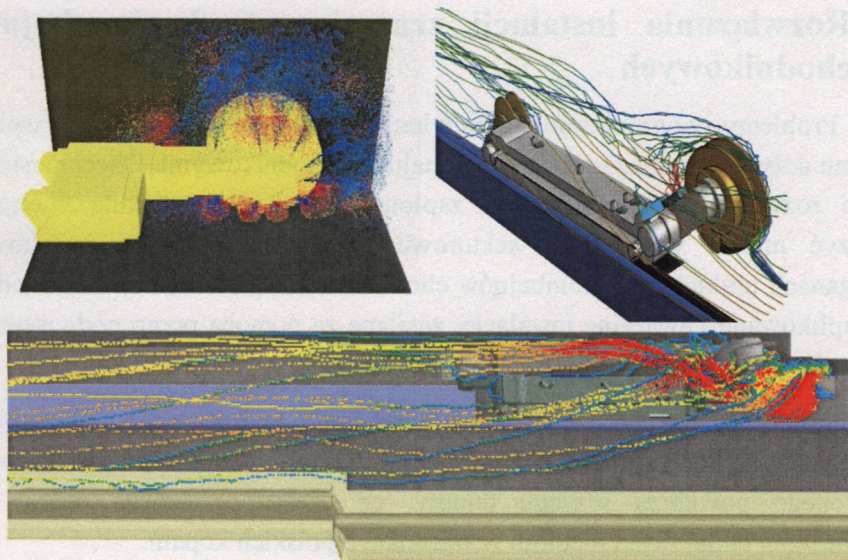
Rys. 5.31. Powietrzno-wodna instalacja zraszająca do górniczych kombajnów według patentu PL 221193 B1 [120]

W kombajnie KSW-800NE zastosowano liczne innowacje a wśród nich kamery do obserwacji procesu urabiania i łatwiejszej identyfikacji zagrożeń. Duże zapylenie występujące w procesie urabiania powoduje zazwyczaj bardzo szybkie zabrudzenie obiektywów kamer. Na potrzeby projektu opracowano [135] rozwiązanie do ochrony elementów optycznych zasilane sprężonym powietrzem, które wymusza takie skierowanie strumienia sprężonego powietrza wytwarzanego na obwodzie chronionego elementu aby uniemożliwić dotarcie zapyłonego powietrza do jego powierzchni (rys. 5.32). Sprężone powietrze ma spowodować powstanie nadciśnienia na powierzchni chronionego elementu i odsunięcie od niego zapyłonej strefy. Alternatywnie przewidziano zasilanie urządzenia wodą zraszającą.



Rys. 5.32. Urządzenie chroniące elementy optyczne przed zanieczyszczeniem według patentu PL 223542 B1 [135]

Po zakończeniu badań eksploatacyjnych kombajnu KSW-800NE, wdrożono dwa egzemplarze tego kombajnu. W ramach projektu INERG prowadzono badania symulujące zachowania się instalacji zraszającej, zamontowanej na kombajnie ścianowym. W procesie wirtualnego prototypowania symulację rozprzestrzeniania się aerozolu zraszającego oraz powietrza wentylacyjnego w wyrobisku górniczym wykonano z użyciem oprogramowania do analizy dynamicznej przepływów (rys. 5.33). Symulacja potwierdziła słuszność zakładanych prac projektowych, między innymi poprawne zlokalizowanie miejsca zabudowy dysz oraz uzyskanie wymaganych efektów zraszania [50]. Wynikiem pozytywnych rezultatów prac projektowych i badawczych w rozwiązaniach z zastosowaniem powietrzno-wodnych instalacji zraszających jest ponad 30 udokumentowanych wdrożeń w polskich i zagranicznych kopalniach.



Rys. 5.33. Modele rozchodzenia się aerozolu zraszającego oraz powietrza wentylacyjnego w ścianie opracowane z wykorzystaniem analizy dynamicznej przepływów [50]

Zastosowanie tego typu zraszania znacząco zwiększyło bezpieczeństwo pracy wobec zapłonu i wybuchu metanu oraz spowodowało redukcję zapylenia generowanego przez organy urabiające. Obecnie rozwiązanie jest wdrażane w trzech typach kombajnów ścianowych produkowanych przez FAMUR S.A.

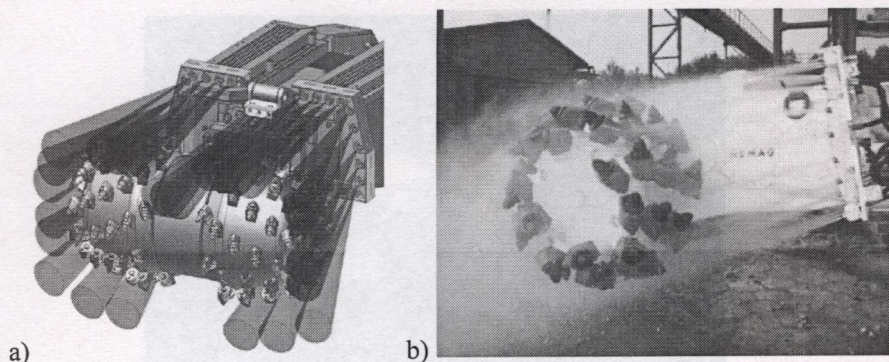
Osiągnięcie pozytywnych efektów prac projektowo-badawczych i wdrożeniowych na tak szeroką skalę było możliwe dzięki metodycznemu podejściu autora wraz zespołem do procesu projektowania popartego badaniami stanowiskowymi, symulacyjnymi i in situ uwzględniającego w pierwszej kolejności zaspokojenie najważniejszych potrzeb związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa eksploatacji a w dalszej perspektywie z redukcją zapylenia, podnoszeniem komfortu pracy, niezawodności działania czy też łatwością serwisu. Dzięki takiemu podejściu, po wdrożeniu pierwszych egzemplarzy instalacji zraszających, konstrukcje ich poddawano modyfikacjom zgodnie z dostrzeganymi potrzebami użytkowników eliminując całkowicie przypadki zapłonów metanu w ścianie. Niewątpliwą zaletą powietrzno-wodnych instalacji zraszających w kombajnach ścianowych, jest ich wysoka skuteczność w redukcji stężenia pyłu zawartego w powietrzu kopalnianym.

6. Rozwiązania instalacji zraszających do kombajnów chodnikowych

Problemy z ograniczaniem zapylenia i niedopuszczeniem do zapłonu metanu dotyczą również urabiania kombajnami chodnikowymi. Obecnie istnieje wiele rozwiązań ograniczających zapłon metanu. Do najskuteczniejszych zaliczyć można wewnętrzne sektorowe zraszanie zanożowe, instalowane w organach urabiających kombajnów chodnikowych [23, 25, 31]. Są to jednak skomplikowane i awaryjne instalacje, zasilane za pomocą pomp podnoszących ciśnienie w zakresie wartości $5\div 10$ MPa.

Skuteczne, zewnętrzne zraszanie powietrzno-wodne, proponowane przez firmę Sandvik, wymaga zasilania instalacji kilkunastoma metrami sześciennymi sprężonego powietrza w ciągu minuty, co często przekracza możliwości dostarczenia takiej ilości medium w warunkach polskich kopalń.

Bazując na pozytywnych doświadczeniach uzyskanych podczas projektowania, badań i wdrożeń powietrzno-wodnych instalacji zraszających przeznaczonych do kombajnów ścianowych, w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG podjęto prace, w wyniku których zaprojektowano zewnętrzną, powietrzno-wodną instalację zraszającą zapewniającą skuteczną ochronę procesu urabiania przed powstaniem zapłonu i umożliwiającą redukcję zapylenia. Parametry pracy umożliwiają zasilanie tej instalacji zraszającej w każdych warunkach dołowych, gdzie jest dostęp do sprężonego powietrza i wody. Instalacja ta wymaga zasilania wodą o natężeniu przepływu do $30\text{ dm}^3/\text{min}$ pod ciśnieniem $0,3\div 0,5$ MPa oraz sprężonym powietrzem pod tym samym ciśnieniem. Istotą rozwiązania jest umieszczenie za organem urabiającym dwóch ram w kształcie zwróconych do siebie liter C, umożliwiających objęcie strefą zraszania całego obrysu organu urabiającego (rys. 6.1). W ramach tych założeń zainstalowano zestaw powtarzalnych baterii zraszających, łączonych ze sobą śrubami i uszczelnianych na powierzchni styku graniczących ze sobą otworów doprowadzających media zraszające zgodnie z patentem [136]. Pierwsza instalacja została zabudowana na wysięgniku kombajnu chodnikowego R-130.

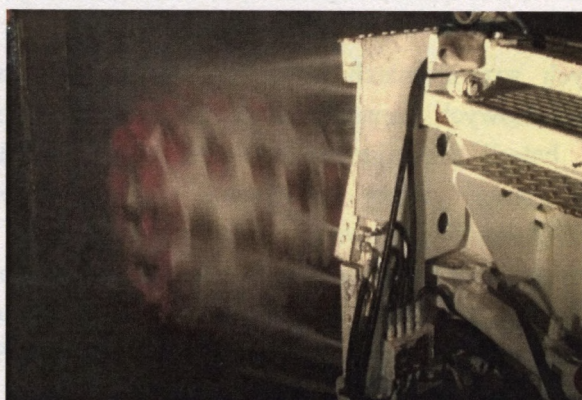


Rys. 6.1. Powietrzno-wodna instalacja zraszająca kombajnu chodnikowego według patentu PL 213239 B1: a) model komputerowy b) instalacja zraszająca zabudowana na kombajnie chodnikowym R-130 [88]

W kolejnych rozwiązaniach powietrzno-wodnej instalacji zraszającej kombajnów chodnikowych zaproponowano inny sposób łączenia ze sobą poszczególnych baterii zraszających oraz zabudowę dodatkowych baterii zraszających na górnej i dolnej powierzchni wysięgnika [69, 137], które spowodowały większe wyizolowanie organu urabiającego od atmosfery. Rozwiązanie to zastosował producent kombajnów chodnikowych firma REMAG w kombajnach R-130 i R-50 [39]. Wdrożenie tej instalacji zraszającej zostało poprzedzone badaniami stanowiskowymi w KD Barbara (rys. 6.2), w aspekcie skuteczności niedopuszczania do powstania zapłonu metanu (rys. 6.3) oraz skuteczności gaszenia płomieni metanu (rys. 6.4), na podstawie metodyki badań opracowanej w Instytucie KOMAG.



Rys. 6.2. Ramię kombajnu chodnikowego umieszczone na stanowisku badawczym [39]



Rys. 6.3. Próby skuteczności niedopuszczania do powstania zapłonu metanu [39]



a)

b)

Rys. 6.4. Gaszenie płomieni gazowych z wykorzystaniem powietrzno-wodnej instalacji zraszającej: a) przed zagaszeniem, b) po zagaszeniu [39]

Badania, przy dolnych wartościach założonych parametrów zasilania, wykazały pełną funkcjonalność instalacji zraszających w badanym zakresie, przy których działanie instalacji zraszającej nie dopuszczało do powstania zapłonu palnej mieszaniny gazowej a sprowokowany zapłon tej mieszaniny był skutecznie gaszony [39, 89]. Rozwiązanie wykonano wg patentów: PL 217316 B3 [137] oraz PL 217728 B3 [138].

Przebadane instalacje zraszające przewidziano do dwóch wielkości kombajnu i ostatecznie zabudowano je na wysięgnikach kombajnów chodnikowych R-200, R-2000, R-130. Rozwiązanie systemu zewnętrznej, powietrzno-wodnej instalacji zraszającej dostosowano również do kombajnów chodnikowych R-50 oraz AM-50z, we wszystkich odmianach (rys. 6.5). Wdrożenia powietrzno-wodnych instalacji zraszających do kombajnów chodnikowych nastąpiły m.in. w KWK Murcki, KWK Jas-Mos, KWK Borynia.

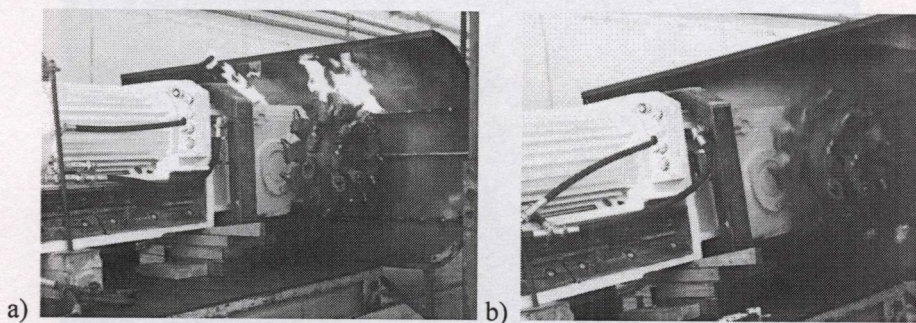


Rys. 6.5. Kurtyna powietrzno-wodna zabudowana na kombajnie R-130 [39]

Rozwiązanie zostało wyróżnione Dyplomem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za projekt pod tytułem: Instalacja ciśnieniowa powietrzno-wodna kombajnu górniczego oraz złotym medalem na Światowej Wystawie Innowacji, Badań Naukowych i Nowoczesnej Techniki Brussels Innova za projekt:

Instalacja ciśnieniowa powietrzno-wodna kombajnu górniczego (Bruksela, listopad 2010). Powietrzno-wodna kurtyna zraszająca kombajnu chodnikowego przeznaczona do ograniczania zagrożenia zapłonu metanu i wybuchu pyłu węglowego otrzymała w 2010 r. wyróżnienie w Ogólnopolskim Konkursie Poprawy Warunków Pracy.

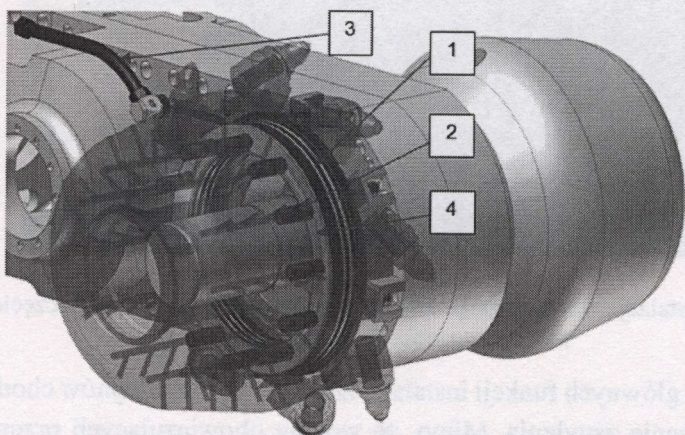
W Instytucie KOMAG opracowano również zasilaną wodą kurtynę zraszającą kombajnu chodnikowego KPD dla ukraińskiego producenta CORUM. Instalacja ta była złożona z dwóch monolitycznych ram, spawanych z grubościennych profili i blach, co zwiększyło jej odporność na uszkodzenia podczas eksploatacji kombajnu. W KD Barbara przeprowadzono, podobnie jak wcześniej, testy i potwierdzono skuteczność instalacji zraszającej w aspekcie ograniczania zagrożenia zapłonem metanu (rys. 6.6). Instalacja była zasilana wodą o natężeniu przepływu $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ pod ciśnieniem około 1 MPa [9]. W instalacji tej zastosowano dysze wytwarzające równomierny strumień z małymi średnicami kropeł.



Rys. 6.6. Badania skuteczności gaszenia zapalonego gazu [9]:
a) przed załączeniem zraszania, b) podczas gaszenia

Ten sam typ kombajnu został wyposażony w zaprojektowaną w Instytucie KOMAG zanożową instalację zraszania sektorowego, której założeniem było zwiększenie niezawodności działania wewnętrznej instalacji zraszającej oraz podniesienie skuteczności niedopuszczania do zapłonu podczas drażenia przodków, z zagrożeniem nagłego wypływu metanu. W przeciwieństwie do znanych konstrukcji zraszania sektorowego, rozwiązanie to nie wymagało kanału w wale głównym przekładni organu urabiającego, przez który w innych

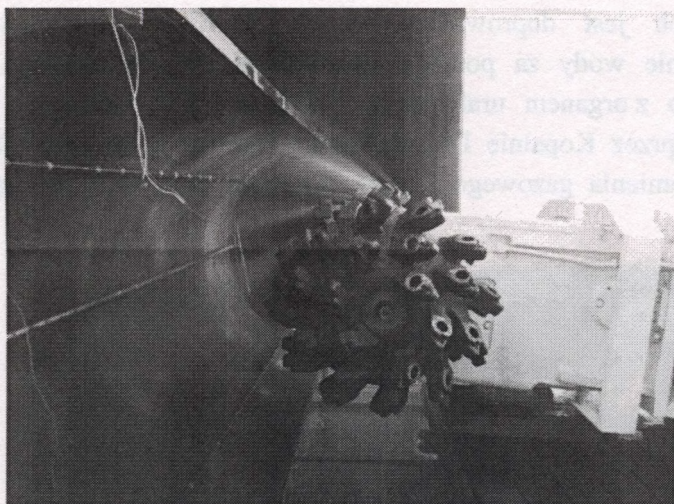
rozwiązaniach jest doprowadzana woda. Problem rozwiązano poprzez doprowadzenie wody za pomocą rozdzielacza współpracującego obrotowo bezpośrednio z organem urabiającym [122] (rys. 6.7). Instalacja ta została przebadana przez Kopalnię Doświadczalną Barbara w aspekcie skuteczności gaszenia płomienia gazowego i niedopuszczenia do powstania jego zapłonu (rys. 6.8).



- 1-rozdzielacz sektorowy wraz z uszczelnieniami,
2-zespół suwaków, 3-zespół doprowadzenia wody,
4-kanal wodny

Rys. 6.7. System zraszania sektorowego głowicy poprzecznej kombajnu chodnikowego [22]

Kombajn chodnikowy KPD wyposażono w obie instalacje zraszające i zastosowano w KWK Jas-Mos, a z kurtyną zraszającą w KWK Marcel. W wyniku współpracy CORUM z Instytutem KOMAG w zakresie instalacji zraszających, nastąpiły kolejne wdrożenia kombajnów chodnikowych.



Rys. 6.8. Instalacja wewnętrznego zraszania sektorowego przed rozpoczęciem próby niedopuszczenia do zapłonu metanu [9]

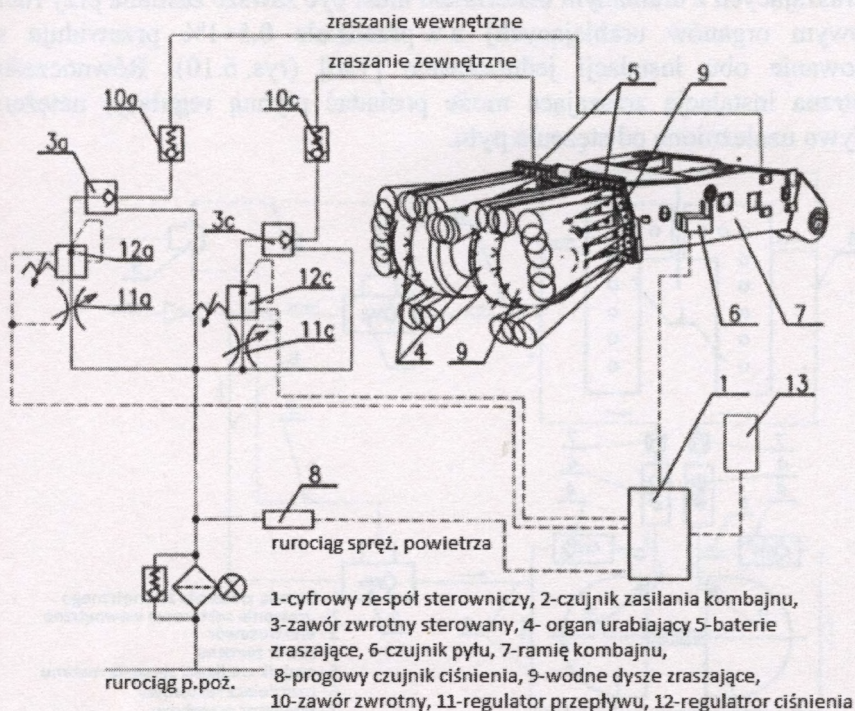
Jedną z głównych funkcji instalacji zraszających kombajnów chodnikowych jest ograniczenie zapylenia. Mimo, że według obowiązujących przepisów [83] należy w kombajnach stosować odpylacze, to zazwyczaj jest to zabieg niewystarczający, żeby stężenie pyłu w strefach urabiania było poniżej NDS. Dlatego zraszanie ma bardzo istotną rolę w ograniczaniu zapylenia.

Stosowanie instalacji zraszających w kombajnach chodnikowych jest wymagane przepisami, które wymagają zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa eksploatacji w warunkach zagrożenia zapłonem metanu [83]. Progowa wielkość stężenia metanu w drażonym wyrobisku jest na bieżąco monitorowania poprzez czujniki metanu zainstalowane w każdym kombajnie. Przy stosowaniu instalacji zraszania zewnętrznego, w przypadku przekroczenia stężenia progowego które wynosi 0,5%, czujnik ten powoduje wyłączenie wszystkich urządzeń elektrycznych. W przypadku kombajnów chodnikowych, w których zastosowano instalację wewnętrznego zraszania sektorowego, wyłączenie kombajnu następuje przy przekroczeniu stężenia metanu 1%.

Przy stężeniach metanu powyżej 1% zostaje automatycznie wyłączone zasilanie i nie jest możliwa praca żadnych urządzeń w rejonie zagrożenia.

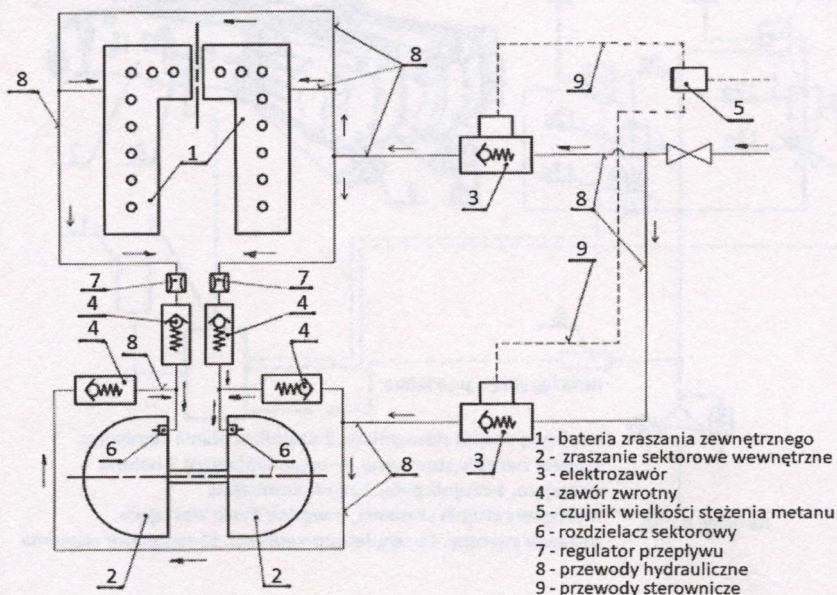
W kombajnach, które mają oba rodzaje instalacji zraszających, istotne jest efektywne, ekonomiczne i ekologiczne wykorzystywanie ich z równoczesnym zapewnieniem właściwego bezpieczeństwa pracy.

Niespotykanym dotąd podejściem było utrzymanie bezpiecznego poziomu zapylenia poprzez zastosowanie układu automatycznego zraszania sprzężonego z wielkością zapylenia. Optymalne zużycie wody zraszającej może być osiągnięte poprzez zastosowanie optycznego czujnika pyłu regulującego właściwe natężenie przepływu wody potrzebnej do utrzymania wymaganego poziomu redukcji stężenia pyłu oraz utrzymania wielkości minimalnych wymaganych przepisami [131]. W rozwiązaniu opracowanym przez ITG KOMAG zaproponowano takie podejście w wariantach: ze zraszaniem wodnym oraz powietrzno-wodnym (rys. 6.9).



Rys. 6.9. Schemat instalacji zraszającej kombajnu chodnikowego, sterowanej czujnikiem pyłu według patentu PL 222502 B1 [131]

Uzależnianie działania instalacji zraszającej od stężenia pyłu w powietrzu jest korzystne z uwagi na podniesienie komfortu pracy załogi i ochronę ich zdrowia. Ma też na celu ograniczenie ilości wody zraszającej, która wpływa negatywnie na rozmakanie spągu i zawilgocenie urobku. Dużo ważniejszym aspektem, który musi być brany pod uwagę, to bezpieczeństwo eksploatacji w warunkach zagrożenia zapłonem metanu i wybuchu pyłu węglowego. W Instytucie KOMAG zaproponowano rozwiązanie instalacji zraszającej, której intensywność zraszania jest ściśle skorelowana ze stężeniem metanu w wyrobisku górniczym. Zastosowanie takiego rozwiązania wymaga dwuprogowego czujnika stężenia metanu lub dwóch pojedynczych czujników z progami nastawienia na 0,5% oraz 1% stężenia. Kombajn wyposażony w takie czujniki, odpowiednie sterowanie oraz dwie instalacje zraszania: sektorowego i zewnętrznego umożliwia, przy stężeniu metanu do 0,5%, stosowanie tylko jednej instalacji - zraszania sektorowego (ta z uwagi na uszczelnienia i kontakt dysz zraszających z urabianym materiałem musi być zawsze zasilana przy ruchu obrotowym organów urabiających) a w przedziale 0,5÷1% przewiduje się zastosowanie obu instalacji jednocześnie [130] (rys. 6.10). Równocześnie zewnętrzna instalacja zraszająca może posiadać płynną regulację natężenia przepływu uzależnioną od stężenia pyłu.



Rys. 6.10. Schemat instalacji zraszającej sterowanej wielkością stężenia metanu według zgłoszenia wynalazczego P.412 806 [130]

Opracowane w ITG KOMAG powietrzno-wodne instalacje zraszające są innowacyjnym i oryginalnym sposobem poprawy bezpieczeństwa podczas drażenia chodników. Dotąd, najczęściej stosowane były instalacje zraszające w postaci belek w kształcie odwróconej litery U, mocowane w górnej części wysięgnika. Instalacje te zasilane są wodą o ciśnieniu $0,8 \div 1,6$ MPa i natężeniu przepływu około $50 \text{ dm}^3/\text{min}$, i charakteryzują się zarówno niewystarczającą skutecznością w niedopuszczaniu do zapłonu metanu i jego gaszeniu oraz w ograniczaniu zapylenia w przodku. Bardziej skuteczne, instalacje zraszania sektorowego mające natężenie przepływu wody $80 \div 180 \text{ dm}^3/\text{min}$, są znacznie droższe i podatne na awarie.

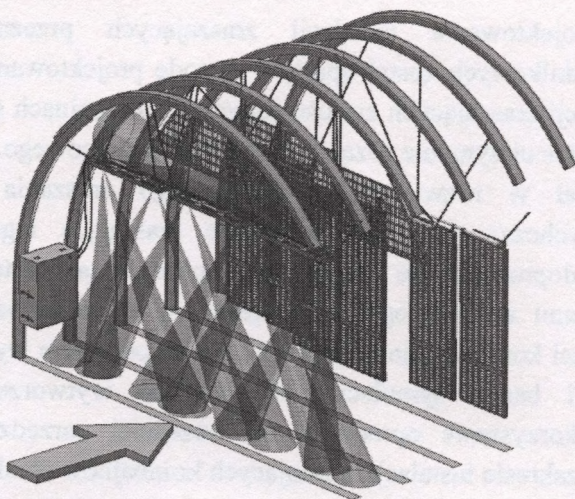
Zastosowanie skutecznych powietrzno-wodnych instalacji zraszających w kombajnach chodnikowych może doprowadzić do znacznej redukcji stężenia pyłu lecz nie zapobiegnie jego całkowitemu zanikowi. W wyrobiskach górniczych istnieje wiele potencjalnych źródeł zapylenia pierwotnego (w wyniku rozdrabniania skał) jak i wtórnego, wzbudzanego przez ludzi i urządzenia.

Proces projektowania instalacji zraszających przeznaczonych do kombajnów chodnikowych został oparty o metodę projektowania powietrzno-wodnych instalacji zraszających zastosowanych w kombajnach ścianowych, co umożliwiło szybkie otrzymanie oczekiwanego efektu końcowego. Inne podejście autor zastosował w rozwiązaniu wewnętrznego zraszania sektorowego. Analizując dotychczas stosowane instalacje zraszające tego typu, autor zaproponował doprowadzenie wody do rozdzielacza sektorowego poza przekładnią organu urabiającego, co wiązało się z opracowaniem zupełnie odmiennej postaci konstrukcyjnej instalacji. Nowe podejście wydłużyło proces projektowania i badań symulacyjnych lecz po wytworzeniu prototypu umożliwiło wykorzystanie opracowanych wcześniej narzędzi badawczych. Dalsze prace w zakresie instalacji zraszających kombajnów chodnikowych będą dotyczyły zwiększenia trwałości zraszania sektorowego oraz regulacji intensywności zraszania w zależności od zmian stężenia metanu i stężenia zapylenia.

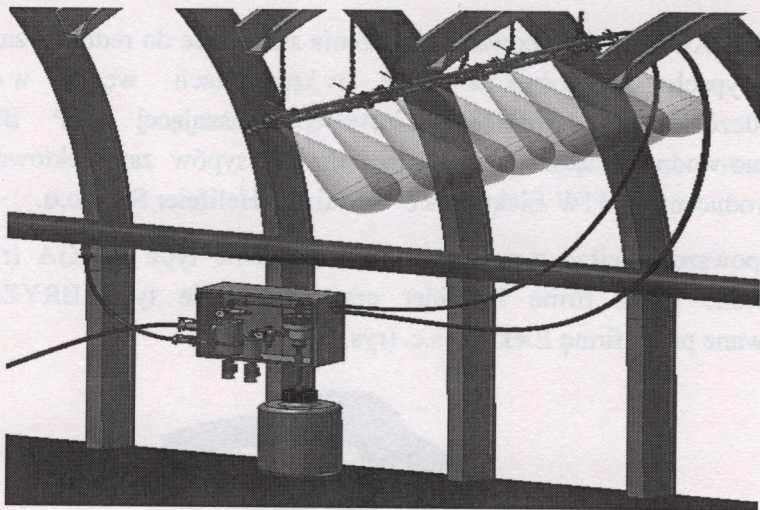
7. Rozwiązania urządzeń zraszających przeznaczonych do stosowania w chodnikach

Doświadczenia uzyskane w ramach prac nad instalacjami zraszającymi do kombajnów ścianowych i chodnikowych zostały wykorzystane przy opracowaniu instalacji zraszających, przeznaczonych do zabudowy w wyrobiskach korytarzowych, w których istnieje problem zapylenia, generowanego z urządzeń transportowych, ścian i przodków chodnikowych. Skrzyżowania chodników to charakterystyczne miejsca, w których zapylenie pochodzące z jednego chodnika może być przyczyną zapylenia dalszej części systemu wentylacyjnego.

W Instytucie KOMAG podjęto prace projektowe nad powietrzno-wodną instalacją zraszającą CZP BRYZA (rys. 7.1), przeznaczoną do redukcji zapylenia w wyrobiskach korytarzowych kopalń [54]. Pył z zapyłonego powietrza jest wychwytywany za pomocą rozpylonego strumienia powietrzno-wodnego i po zwilżeniu, osadzany na spągu (rys. 7.2) lub na kracie ściekowej o specjalnej konstrukcji żaluzjowej (rys. 7.3) [10, 61, 104].



Rys. 7.1. Powietrzno-wodna kurtyna zraszająca CZP BRYZA według koncepcji ITG KOMAG [54]



Rys. 7.2. Powietrzno-wodna kurtyna zraszająca do strącania pyłu w wyrobiskach chodnikowych według zgłoszenia wynalazczego nr P.397340, 2011 [115]

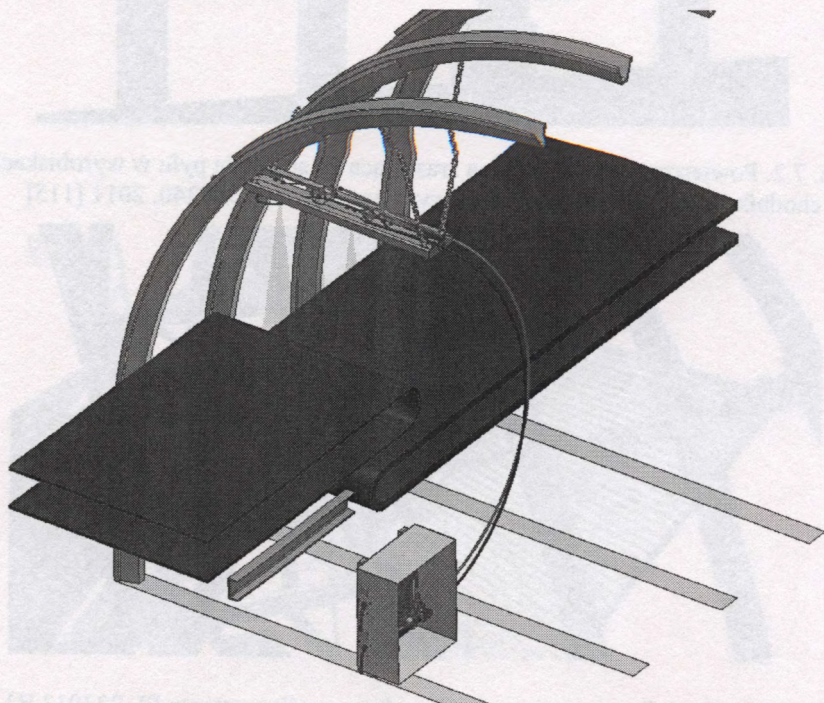


Rys. 7.3. Chodnikowa zapora przeciwpylowa według patentu PL 233913 B1 [10, 61, 104]

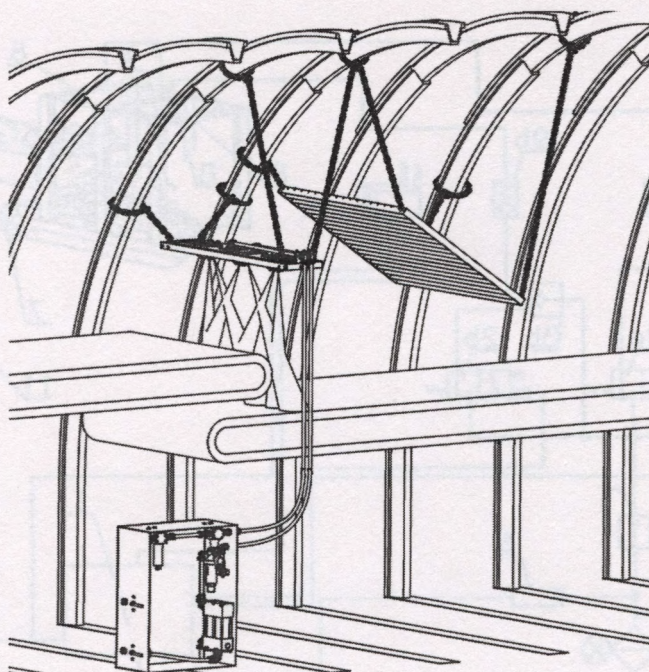
Przesypy przenośników to również bardzo istotne źródło zapylenia występujące w kopalniach. Zależnie od zastosowanego rozwiązania, działanie zraszania inicjowane jest ruchem przenośnika, obecnością nadawy na taśmie, masą nadawy lub uruchomieniem silnika elektrycznego napędu przenośnika. Instalacje zraszające uruchamiane są też ręcznie zaworem.

W ITG KOMAG opracowano urządzenia zraszające do redukcji zapylenia na przesypach przenośników oraz w kruszarkach węgla w oparciu o doświadczenia przy wdrażaniu instalacji zraszającej CZP BRYZA. Powietrzno-wodne urządzenia zraszające do przesypów zaprojektowano dla dwóch producentów: FIW Elektron s.c. oraz firmy Hellfeier Sp. z o.o.

Najpowszechniejsze z rozwiązań to: urządzenie typu VIRGA (rys. 7.4) produkowane przez firmę Hellfeier oraz urządzenie typu BRYZA-1200 produkowane przez firmę Elektron s.c. (rys. 7.5).

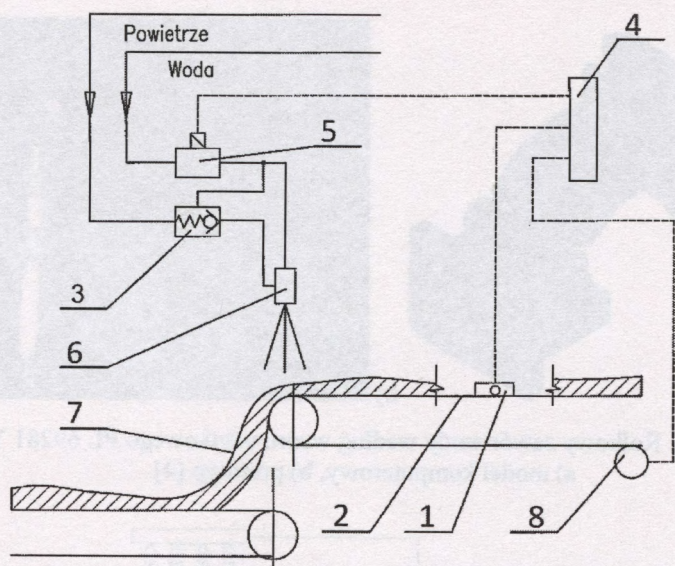


Rys. 7.4. Powietrzno-wodny zraszacz przesypów typu VIRGA [61]



Rys. 7.5. Powietrzno-wodny zraszacz przesypów typu BRYZA [61]

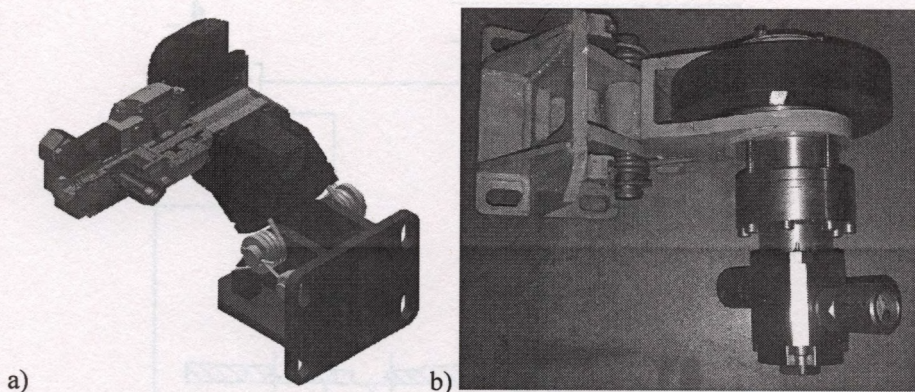
Oba urządzenia są uruchamiane ręcznie lub ruchem taśmy przenośnika. Zraszacz BRYZA-1200 jest dodatkowo wykonywany w wersji uruchamianej sygnałem czujnika optycznego pyłu (rys. 7.6) [132] lub sygnałem zbliżeniowego czujnika pomiaru wysokości nadawy na przenośniku (rys. 7.7), uruchamianego obecnością nadawy na taśmie przenośnika [133].



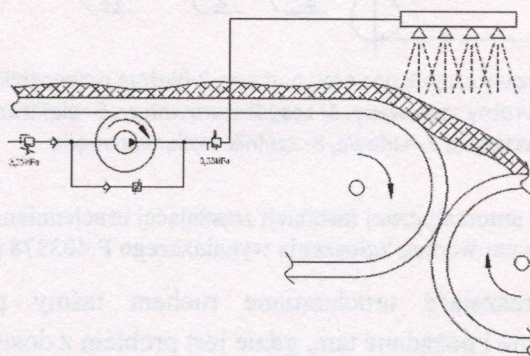
1-bezdotkowy czujnik poziomu nadawy, 2-bieżnia przenośnika, 3-zawór zwrotny sterowany, 4- zespół sterowniczy, 5- elektrozawór, 6-dysze zraszające, 7-nadawa, 8- czujnik zasilania napędu

Rys. 7.7. Schemat automatycznej instalacji zraszającej uruchamianej czujnikiem zbliżeniowym według zgłoszenia wynalazczego P.403378 [133]

Urządzenia zraszające uruchamiane ruchem taśmy przenośnika są najbardziej praktyczne i pożądane tam, gdzie jest problem z dostępem do energii elektrycznej. W tym celu w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG zaprojektowano i wdrożono rolkowy zawór wody ZSZP uruchamiany ruchem taśmy przenośnika (rys. 7.8), [142]. Dzięki jego zastosowaniu woda zraszająca zasila instalację wyłącznie podczas pracy przenośnika taśmowego (rys. 7.9) [143].

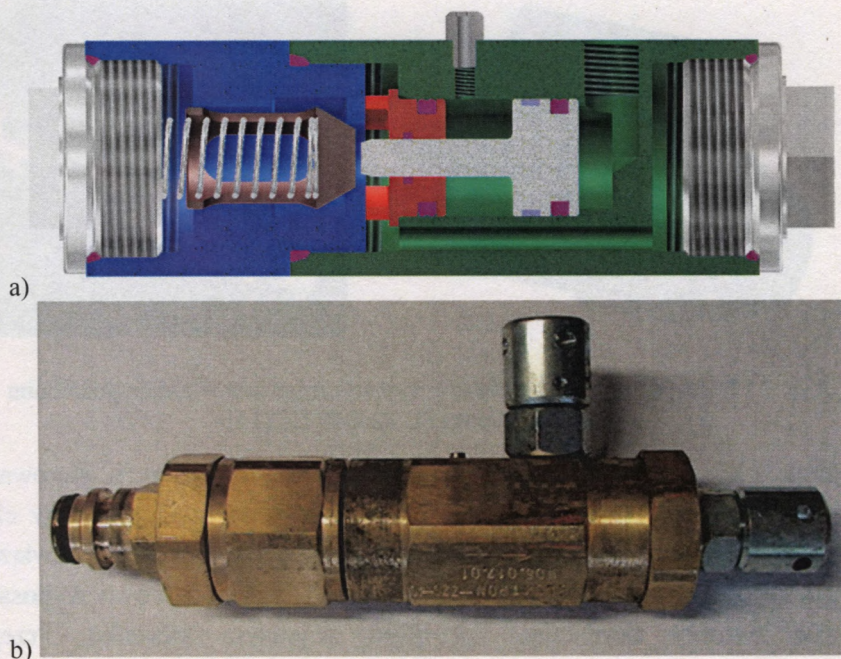


Rys. 7.8. Rolkowy zawór wody według wzoru użytkowego PL 69281 Y1:
a) model komputerowy, b) prototyp [4]



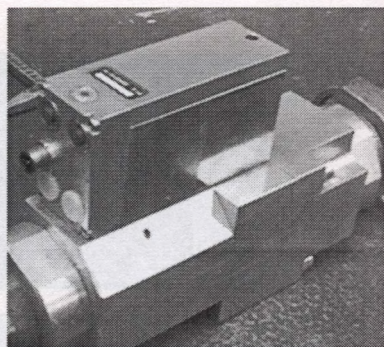
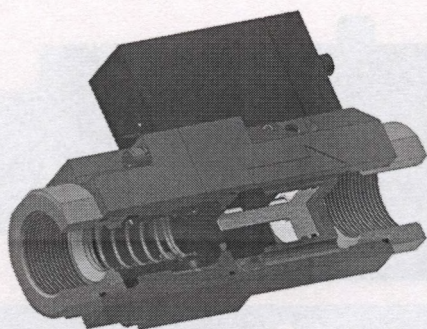
Rys. 7.9. Schemat automatycznej instalacji zraszającej uruchamianej rolkowym rozdzielaczem wody według zgłoszenia wynalazczego P.403935 [143]

Elementem, który umożliwił uproszczenie budowy instalacji zraszającej jest zawór zwrotny ZZS przeznaczony do sterowania przepływem mediów w instalacjach zraszających powietrzno-wodnych (sprężonego powietrza lub wody zraszającej). Zawór ten otwiera i zamyka przepływ czynnika roboczego, w zależności od obecności ciśnienia czynnika pilotującego (rys. 7.10). Rozwiązanie jest przeznaczone do zasilania instalacji o ciśnieniu od 0,1 MPa do 1 MPa i nominalnym przepływie do 600 dm³/min. Innowacyjne cechy zaworu zwrotnego opracowanego w ITG KOMAG znalazły swoje odzwierciedlenie w dwóch zgłoszeniach wynalazczych [116, 140].



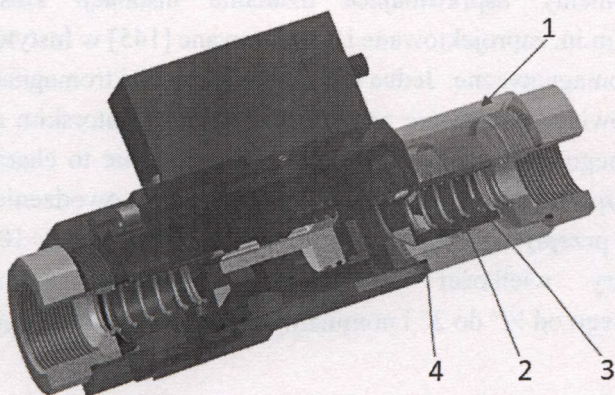
Rys. 7.10. Zawór zwrotny sterowany ZZS, a) model komputerowy, b) prototyp [4]

Inne elementy usprawniające działanie instalacji zraszających na przesypach, to m.in. zaprojektowane i opatentowane [145] w Instytucie KOMAG zawory elektromagnetyczne. Jedną z konstrukcji to elektromagnetyczny zawór zwrotny, stanowiący połączenie zaworu pilotowego z autorskim rozwiązaniem zaworu zwrotnego sterowanego (rys. 7.11). Rozwiązanie to charakteryzuje się bardzo dużą odpornością na uszkodzenia i może być z powodzeniem stosowane do sterowania przepływem cieczy o wartościach ciśnienia $0,2 \div 10$ MPa. Zawór posiada cztery wielkości identyfikowane poprzez średnicę gwintu przyłączeniowego od $\frac{1}{2}$ " do 2" i nominalny przepływ $120 \div 600$ dm³/min.



Rys. 7.11. Zespół zaworów z elektromagnetycznym sterowaniem pośrednim według patentu PL 224347 B1 [11]

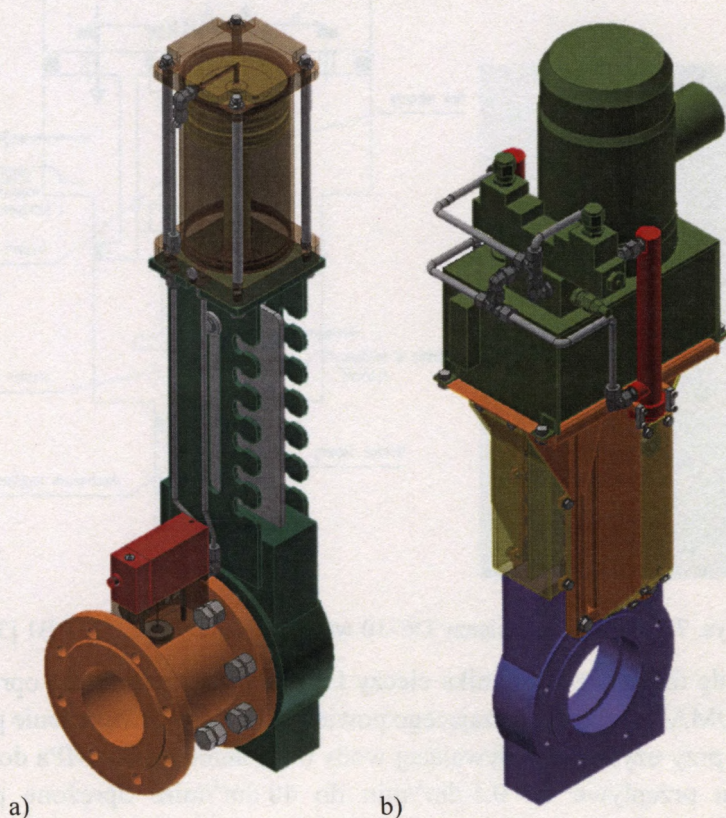
Inna z konstrukcji prezentuje zespół zaworów zwrotnych sterowanych elektrycznie pilotem (rys. 7.12). Rozwiązanie to umożliwia przepływ cieczy w jednym kierunku, pod warunkiem przesterowania zaworu. Rozwiązanie, w stosunku do przedstawionego na rysunku 7.11, jest dodatkowo wyposażone w zawór zwrotny zamykający przepływ w jednym kierunku. Przepływ w kierunku przeciwnym jest blokowany przez zawór aż do chwili jego otwarcia elektrycznie [146].



1-korpus zaworu, 2-grzybek, 3-sprężyna,
4-pierścienie uszczelniające o przekroju kołowym

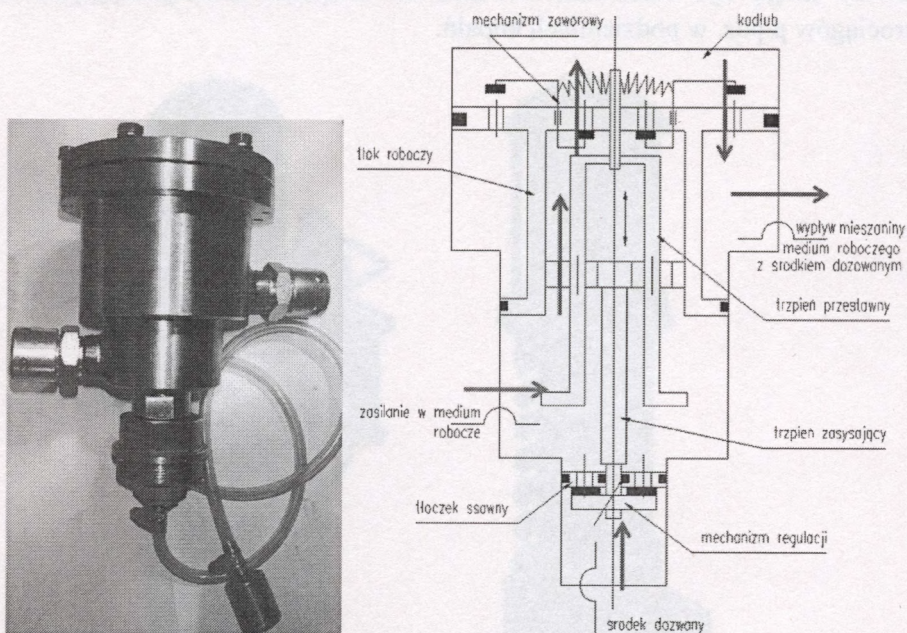
Rys. 7.12. Zespół zaworów elektromagnetycznych ze sterowaniem pośrednim z przepływem w jednym kierunku według zgłoszenia wynalazczego P.409 866 [11]

Innym rozwiązaniem zaprojektowanym w ITG KOMAG, umożliwiającym przepływ medium zraszającego w znacznie większych ilościach jest typoszerzeg elektrycznie sterowanych zaworów do regulacji przepływu [141]. Rozwiązanie stanowi zawór z zasuwą, którego mechanizm połączony jest z silnikiem elektrycznym w sposób mechaniczny lub poprzez pompę i cylindry hydrauliczne (rys. 7.13). Zawory te są przeznaczone nie tylko do zasilania instalacji zraszających o dużych wydatkach do $200 \text{ dm}^3/\text{min}$, i zakresie ciśnienia roboczego $0,6 \div 1,6 \text{ MPa}$ przy nominalnej średnicy przepływu $100 \div 200 \text{ mm}$. Zawory mogą być stosowane również do urządzeń klimatyzacyjnych lub rurociągów p.poż. w podziemiach kopalń.



Rys. 7.13. Elektrycznie sterowany zawór do regulacji przepływu według patentu PL 224348 B1 [141]: a) ZSE sterowany silnikiem elektrycznym, b) ZSEH sterowany przez pompę i cylindry

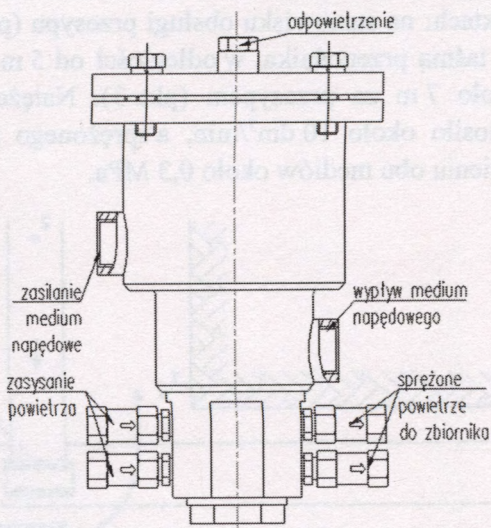
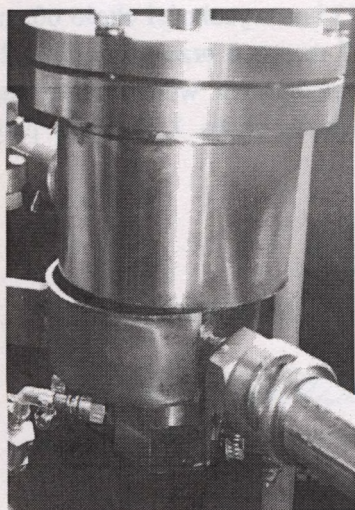
Według koncepcji specjalistów ITG KOMAG opracowano również urządzenie dozujące płynne środki zmniejszające napięcie powierzchniowe wody (rys. 7.14). Urządzenie ma postać pompy napędzanej przepływającym strumieniem wody (np. zraszającej), które poprzez wytwarzanie podciśnienia ruchem posuwisto-zwrotnym zasysa dozowaną ciecz i włącza ją w zadany stężeniu do przepływającego strumienia [139]. W ITG KOMAG opracowano projekt koncepcyjny tego urządzenia, wykonano dokumentację techniczną, a po badaniach prototypu wykonano dokumentację produkcyjną.



Rys. 7.14. Dozownik cieczy DC-10 według patentu PL 225713 B1 [3]

Zasadę działania dozownika cieczy DC-10 wykorzystano do opracowania w ITG KOMAG zespołu sprężającego powietrze (rys. 7.15). Sprężenie powietrza następuje przy użyciu przepływającej wody o ciśnieniu od 0,2 MPa do 0,7 MPa i natężeniu przepływu od 0,5 dm³/min do 40 dm³/min. Sprężone powietrze magazynowane jest w podłączonym zbiorniku pod ciśnieniem do 0,7 MPa. Urządzenie wyposażone w zawór sterujący pozwala na regulację parametrów sprężania, takich jak prędkość sprężania i maksymalne ciśnienie sprężania. Zasada działania opiera się na pracy tłoka o dwóch różnych średnicach

roboczych, na które działa odpowiednio redukowana wartość ciśnienia wody. Woda wymusza posuwisto-zwrotny ruch wykorzystywany do pracy układu sprężającego.

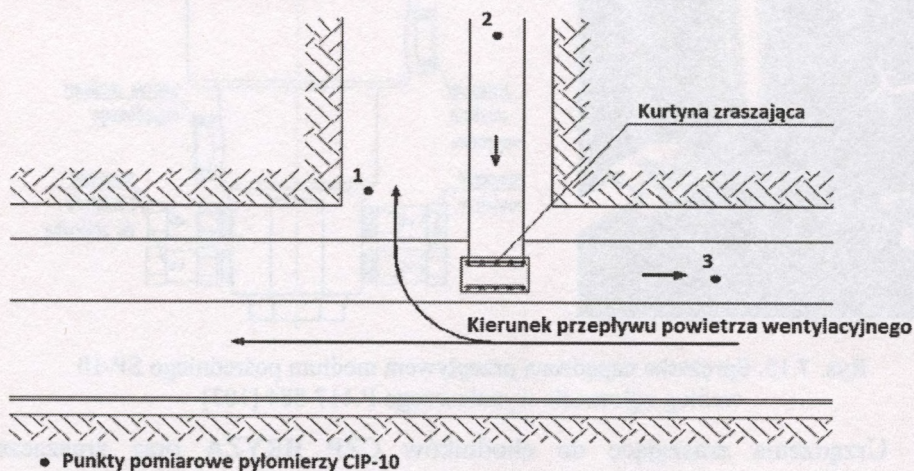


Rys. 7.15. Sprężarka napędzana przepływem medium pośredniego SP-10 według zgłoszenia wynalazczego P.417 884 [103]

Urządzenia zraszające do chodników CZP BRYZA oraz zraszacze przesypów BRYZA i VIRGA w różnych odmianach wykonania i z różnym dodatkowym wyposażeniem są obecnie powszechnie stosowane w polskich kopalniach. Małe wymagania konserwacyjne, bardzo niskie koszty eksploatacyjne i wysoka skuteczność redukcji zapylenia powietrza przyczyniły się do wzrostu liczby zastosowań instalacji zraszających w chodnikach kopalń węgla kamiennego. Przeprowadzone badania urządzenia CZP BRYZA wykazały około 50% skuteczność w redukcji stężenia pyłu [57], natomiast stosowanie zraszaczy przesypów BRYZA-1200 wykazały około 70% skuteczność redukcji zapylenia powietrza kopalnianego [56, 58, 59]. Skuteczność redukcji zapylenia przez zraszacze VIRGA wyniosła nawet 90% [55].

Badania skuteczności redukcji zapylenia z wykorzystaniem instalacji zraszającej VIRGA (rys. 7.15) wykonano w otoczeniu przesypu przenośnika [55, 79]. Przesyp przenośnika zlokalizowano na skrzyżowaniu dwóch chodników

(rys. 7.16). Kierunek przepływu powietrza skierowany był przeciwnie do kierunku odstawy urobku. Stężenie pyłu w powietrzu kopalnianym mierzono przy działającej powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, wodnej instalacji zraszającej oraz bez zraszania. Pomiaru dokonywano równocześnie w trzech punktach: na stanowisku obsługi przesypu (pkt. 1) i na wysokości około 60 cm nad taśmą przenośnika, w odległości od 5 m do 7 m przed przesypem (pkt. 2) i około 7 m za przesypem (pkt. 3). Natężenie przepływu wody zraszającej wynosiło około $10 \text{ dm}^3/\text{min}$, a sprężonego powietrza około $1,5 \text{ m}^3/\text{min}$ przy ciśnieniu obu mediów około $0,3 \text{ MPa}$.

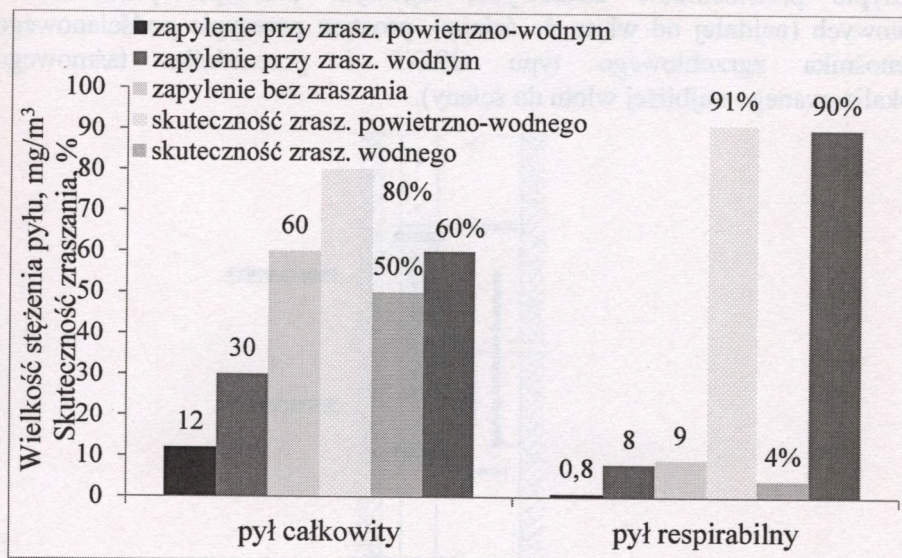


Rys. 7.16. Rozmieszczenie pyłomierzy grawimetrycznych CIP-10 na skrzyżowaniu z przesypem przenośnika [55]

Badania umożliwiły określenie wielkości zapylenia w otoczeniu przesypu przenośnika w wyznaczonych punktach i ocenę skuteczności redukcji stężenia pyłu przy stosowaniu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej oraz przy zastosowaniu wodnej baterii zraszającej, stosowanej wcześniej przez kopalnię.

Przy stosowaniu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, stężenie frakcji respirabilnej pyłu wyniosło $0,8 \text{ mg/m}^3$ w punkcie pomiarowym 1, a przy zastosowaniu zraszania wodnego wyniosło 8 mg/m^3 . Stężenie pyłu respirabilnego przy braku zraszania, w punkcie pomiarowym 1, wyniosło 9 mg/m^3 (rys. 7.17). Na stanowisku obsługi przenośnika, za pomocą zraszania powietrzno-wodnego, nastąpiła redukcja stężenia frakcji respirabilnej pyłu

zawartego w powietrzu do wartości 2,5 krotnie mniejszej od NDS, osiągając skuteczność redukcji zapylenia blisko 91%. Stosowane wcześniej zraszanie wodne, którego skuteczność była ponad dwudziestokrotnie mniejsza, pozwoliło na redukcję zapylenia tylko o około 4,4%. Skuteczność redukcji stężenia pyłu całkowitego z wykorzystaniem zraszania powietrzno-wodnego wyniosła około 80%, natomiast z zastosowaniem zraszania wodnego była znacznie niższa i wyniosła około 50% [55]. W każdym z punktów pomiarowych osiągnięto wysoką skuteczność redukcji stężenia pyłu przy stosowaniu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej.



Rys. 7.17. Porównanie skuteczności redukcji zapylenia z wykorzystaniem zraszania powietrzno-wodnego i wodnego na stanowisku obsługi przesypu przenośnika [55]

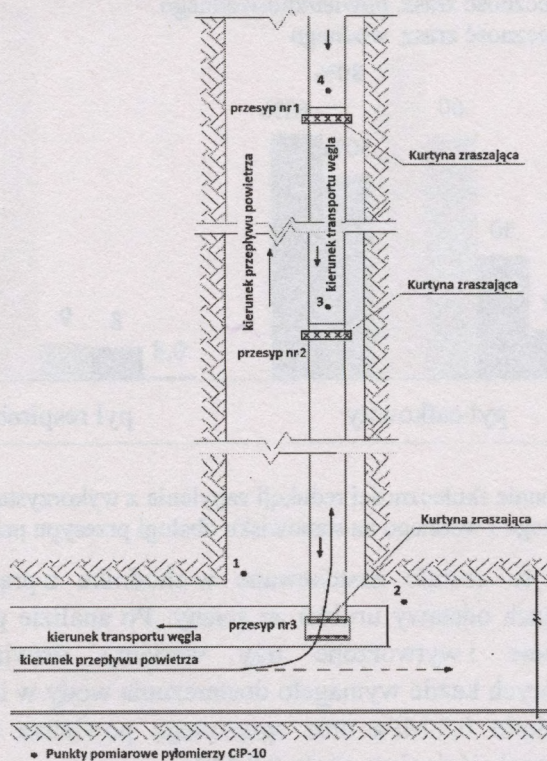
Rozwiązanie to zostało zastosowane w chodniku z prądem powietrza świeżego, na drogach odstawy urobku ze ściany. Po analizie potrzeb kopalni, zostały opracowane i wytworzone trzy warianty rozwiązań urządzeń zraszających, z których każde wymagało dostarczenia wody w ilości $2 \text{ dm}^3/\text{min}$ pod ciśnieniem około $0,3 \text{ MPa}$ oraz sprężonego powietrza w ilości około $250\div 350 \text{ dm}^3/\text{min}$ pod ciśnieniem około $0,3 \text{ MPa}$.

Trzy zraszacze umieszczono w jednym ciągu transportowym, na kolejnych przesypach przenośników zgrzeblowych i taśmowych chodnika, gdzie kierunek przepływu powietrza był przeciwny do kierunku transportu węgla (rys. 7.18).

Taki układ zabudowy tworzył system redukcji zapylenia i zapewnił możliwość jego obniżenia na całej długości wyrobiska [58].

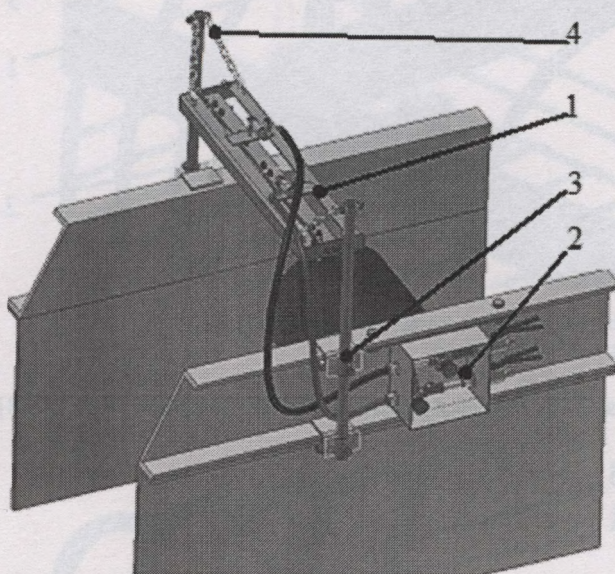
Po zabudowie systemu zraszania VIRGA w ciągu transportowym przenośnikowej odstawy urobku ze ściany 128 w pokładzie 401, na poziomie 740 m w KWK Brzeszcze przeprowadzono badania skuteczności redukcji pyłu zawartego w powietrzu kopalnianym.

Urządzenia zraszające systemu VIRGA zainstalowano na: prostym przesypie przenośników taśmowych, kątowym przesypie przenośników taśmowych (najdalej od wlotu do ściany), prostym przesypie podścianowego przenośnika zgrzeblowego typu GROT i przenośnika taśmowego (zlokalizowanego najbliżej wlotu do ściany).



Rys. 7.18. Rozmieszczenie punktów pomiarowych zapylenia na przesypach nr 1, 2, 3 ze zraszaczami VIRGA [58]

Na przesypie nr 1 podścianowego przenośnika zgrzeblowego GROT na przenośnik taśmowy zraszacz przytwierdzono do konstrukcji przenośnika zgrzeblowego (rys. 7.19). W ten sposób zapewniono stałe usytuowanie zraszacza względem przesypu podczas jego przemieszczania. Zraszacz nr 1 wyposażony w przepływowe filtry wody i powietrza uruchamiano ręcznie zaworami odcinającymi [58].

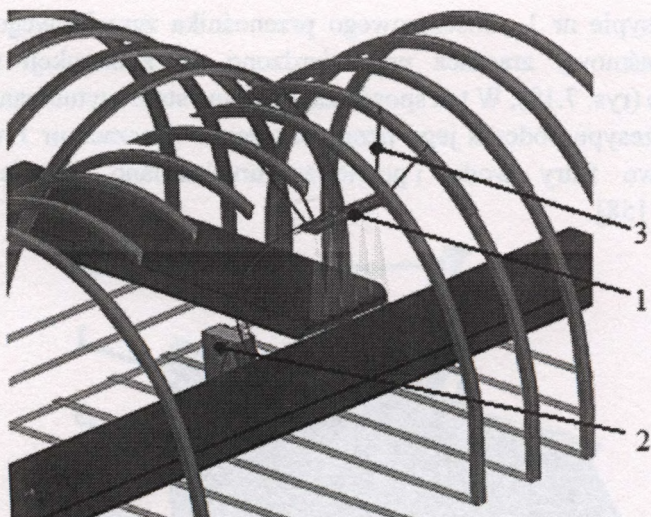


1-bateria zraszająca, 2-zespół sterująco-filtrujący,
3-mocowanie baterii, 4-zawieszanie

Rys. 7.19. Zraszacz przesypu VIRGA na wysypie przenośnika zgrzeblowego [58]

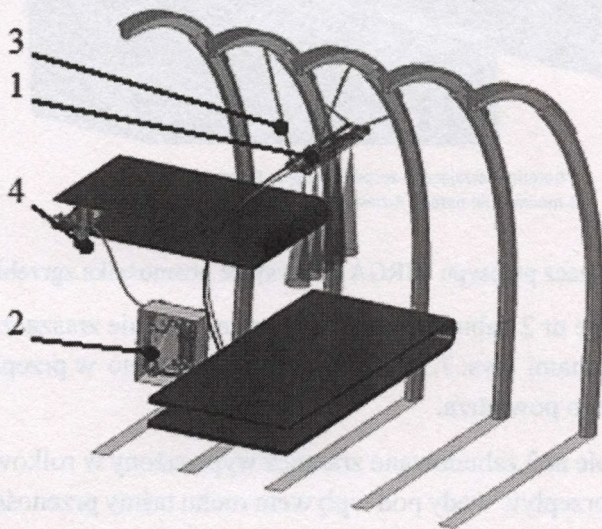
Na przesypie nr 2 zabudowano uruchamiany ręcznie zraszacz podwieszony do stropu łańcuchami (rys. 7.20). Zraszacz wyposażono w przepływowe filtry wody i sprężonego powietrza.

Na przesypie nr 3 zabudowano zraszacz wyposażony w rolkowy rozdzielacz uruchamiający przepływ wody pod wpływem ruchu taśmy przenośnika. Zraszacz został podwieszony na łańcuchach do stropu (rys. 7.21).



1-bateria zraszająca, 2-zespół sterująco-filtrujący,
3-łańcuchy zawiesiowe

Rys. 7.20. Zraszacz przesypu VIRGA na przesypie nr 2 [58]



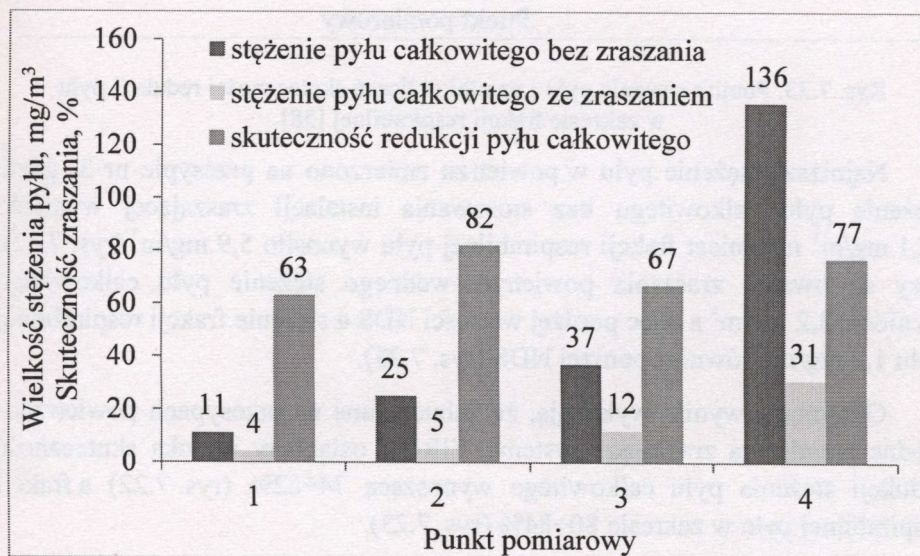
1-bateria zraszająca, 2-zespół sterująco-filtrujący, 3-zawiesie,
4-rolkowy rozdzielacz wody

Rys. 7.21. Zraszacz przesypu VIRGA w wariantcie do przesypu nr 3 przenośnika taśmowego, ze sterowaniem uzależnionym od ruchu taśmy [58]

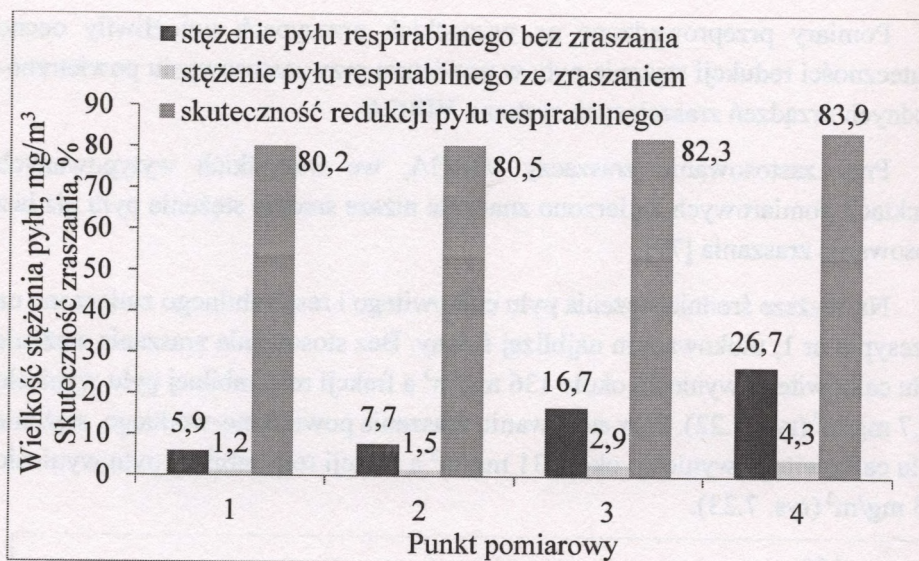
Pomiary przeprowadzone na wszystkich przesypach umożliwiły ocenę skuteczności redukcji stężenia pyłu w powietrzu przy zastosowaniu powietrzno-wodnych urządzeń zraszających systemu VIRGA.

Przy zastosowaniu zraszaczy VIRGA, we wszystkich wytypowanych punktach pomiarowych zmierzono znacznie niższe średnie stężenie pyłu niż bez stosowania zraszania [79].

Najwyższe średnie stężenia pyłu całkowitego i respirabilnego zmierzono na przesypie nr 1, ulokowanym najbliżej ściany. Bez stosowania zraszania stężenie pyłu całkowitego wyniosło około 136 mg/m^3 a frakcji respirabilnej pyłu wyniosło $26,7 \text{ mg/m}^3$ (rys. 7.22). Przy stosowaniu zraszania powietrzno-wodnego, stężenie pyłu całkowitego wyniosło około 31 mg/m^3 a frakcji respirabilnej pyłu wyniosło $4,3 \text{ mg/m}^3$ (rys. 7.23).



Rys. 7.22. Pomiar stężenia pyłu całkowitego i wyniki obliczeń skuteczności redukcji pyłu całkowitego [58]

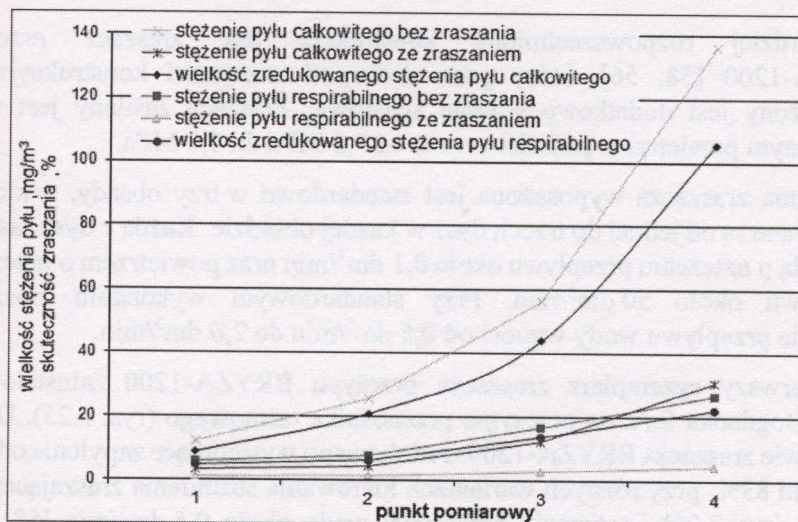


Rys. 7.23. Pomiar stężenia pyłu i wyniki obliczeń skuteczności redukcji pyłu w zakresie frakcji respirabilnej [58]

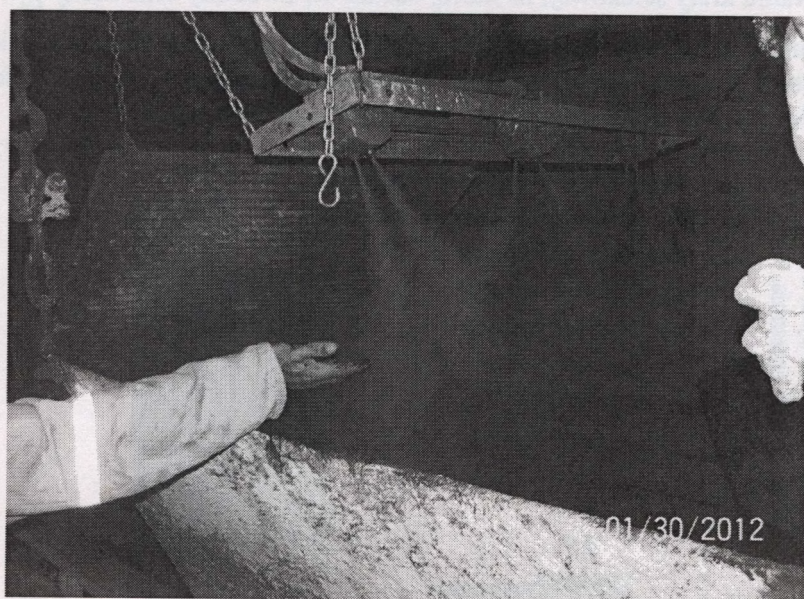
Najniższe stężenie pyłu w powietrzu zmierzono na przesypie nr 3, gdzie stężenie pyłu całkowitego bez stosowania instalacji zraszającej wyniosło 12,1 mg/m³ natomiast frakcji respirabilnej pyłu wynosiło 5,9 mg/m³ (rys. 7.22). Przy stosowaniu zraszania powietrzno-wodnego stężenie pyłu całkowitego wyniosło 3,2 mg/m³ a więc poniżej wartości NDS a stężenie frakcji respirabilnej pyłu 1,2 mg/m³, również poniżej NDS (rys. 7.23).

Otrzymane wyniki wykazują, że zabudowane na przesypach powietrzno-wodne urządzenia zraszające systemu VIRGA osiągnęły wysoką skuteczność redukcji stężenia pyłu całkowitego wynoszącą 74÷82% (rys. 7.22) a frakcji respirabilnej pyłu w zakresie 80÷84% (rys. 7.23).

Analizując wielkości zapylenia w badanym chodniku można zaobserwować proporcjonalny wzrost zapylenia w kierunku ściany 128, zarówno przy pyłe całkowitym, jak i jego frakcji respirabilnej. Stosując zraszanie powietrzno-wodne uzyskana została bardzo podobna skuteczność redukcji zapylenia na wszystkich przesypach, niezależnie od wielkości zapylenia (rys. 7.24). Średnia skuteczność redukcji pyłu całkowitego wyniosła około 78% a przy frakcji respirabilnej pyłu ponad 80%.



Rys. 7.24. Rozkład stężenia zapylenia i wielkości redukcji pyłów: całkowitego i frakcji respirabilnej [58]



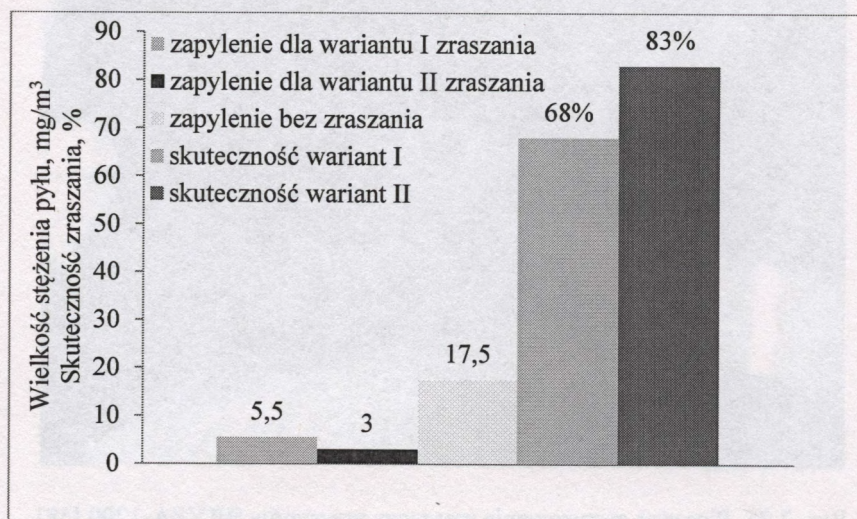
Rys. 7.25. Pierwsze zastosowanie zraszacza przesypów BRYZA-1200 [58]

Bardziej rozpowszechnioną konstrukcją jest zraszacz przesypu BRYZA-1200 [58, 56], który poza drobnymi różnicami konstrukcyjnymi, wyposażony jest dodatkowo w kratę ściekową. Zraszacz zasilany jest wodą i sprężonym powietrzem pod ciśnieniem od 0,2 MPa do 0,5 MPa.

Rama zraszacza wyposażona jest standardowo w trzy obsady, w których montowane są od jednej do trzech dysz w każdej obsadzie. Każda z dysz zasilana jest wodą o natężeniu przepływu około $0,1 \text{ dm}^3/\text{min}$ oraz powietrzem o natężeniu przepływu około $50 \text{ dm}^3/\text{min}$. Przy standardowym wykonaniu zraszacza natężenie przepływu wody wynosi od $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ do $2,0 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Pierwszy egzemplarz zraszacza przesypu BRYZA-1200 zainstalowano w LW Bogdanka S.A. na przesypie przenośnika taśmowego (rys. 7.25). Dzięki zabudowie zraszacza BRYZA-1200 zredukowano występujące zapylenie od 68% do ponad 83%, przy różnych wariantach kierowania strumienia zraszającego na przesyp (rys. 7.26) i natężeniu przepływu wody około $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ [58]. Tak wysoka redukcja zapylenia została osiągnięta nie tylko dzięki dobrze rozpylonej sprężonym powietrzem strudze wody, ale również dzięki właściwemu usytuowaniu kraty ściekowej, na której osadza się zwilżony oraz suchy pył.

Pozytywne wyniki prób skuteczności redukcji pyłu zawartego w powietrzu oraz łatwa obsługa i niezawodność działania zraszacza w LW Bogdanka, spowodowały zabudowę kolejnych 20 zraszaczy BRYZA-1200.



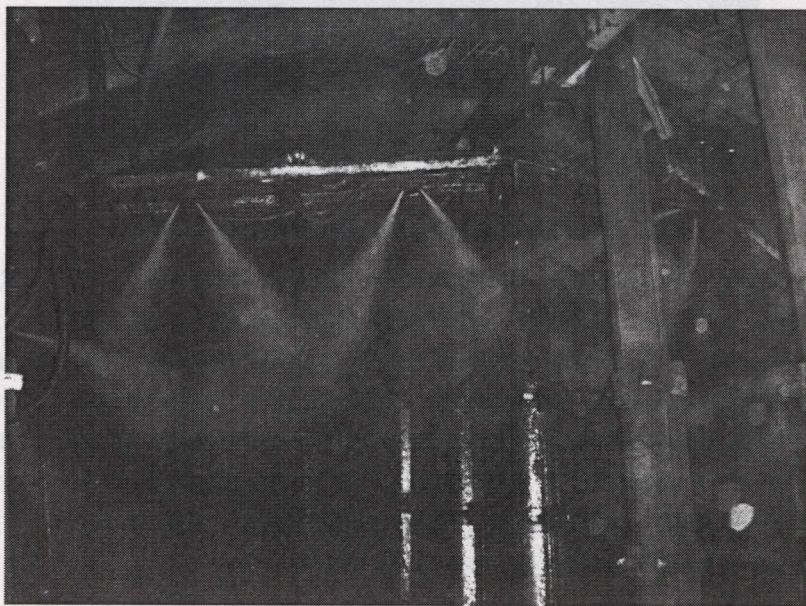
Rys. 7.26. Zestawienie pomiarów stężenia pyłu całkowitego oraz skuteczności redukcji zapylenia [58]

Odmianą zraszacza typu BRYZA jest chodnikowa zaporą przeciwpyłowa CZP BRYZA (rys. 7.27), która służy do redukcji zapylenia powietrza kopalnianego przepływającego przez chodnik kopalniany [56].

Chodnikowa zaporą przeciwpyłowa składa się z:

- trzech zraszaczy z dyszami powietrzno-wodnymi,
- krat żaluzjowych stałych,
- krat żaluzjowych rozsuwanych,
- skrzyni sterującej.

Zaporą CZP BRYZA w standardowym wykonaniu wyposażona jest w około 15 powietrzno-wodnych dysz zraszających, których sumaryczne natężenie przepływu wody wynosi około $1,5 \div 6 \text{ dm}^3/\text{min}$. Tak jak w przypadku zraszacza przesypów BRYZA-1200, ilość sprężonego powietrza i wody są regulowane przez użytkownika.



Rys. 7.27. Chodnikowa zaporą przeciwpyłowa CZP BRYZA [56]

Unoszący się pył zderza się z kroplami rozpylonego strumienia wody, zwiększając jego masę i wilgotność i osiada na kratkach żaluzyjnych (rys. 7.28), zawieszonych labiryntowo na łańcuchach w całym przekroju wyrobiska tak, aby wychwycić jak największą ilość zwilżonego pyłu. Labiryntowe umieszczenie krat żaluzyjnych umożliwia swobodne przemieszczanie się załogi w chodniku. W celu umożliwienia przejazdu kolejną podwieszoną lub transportu ręcznego długich przedmiotów, zaporą jest wyposażona w rozsuwane kraty żaluzjowe.

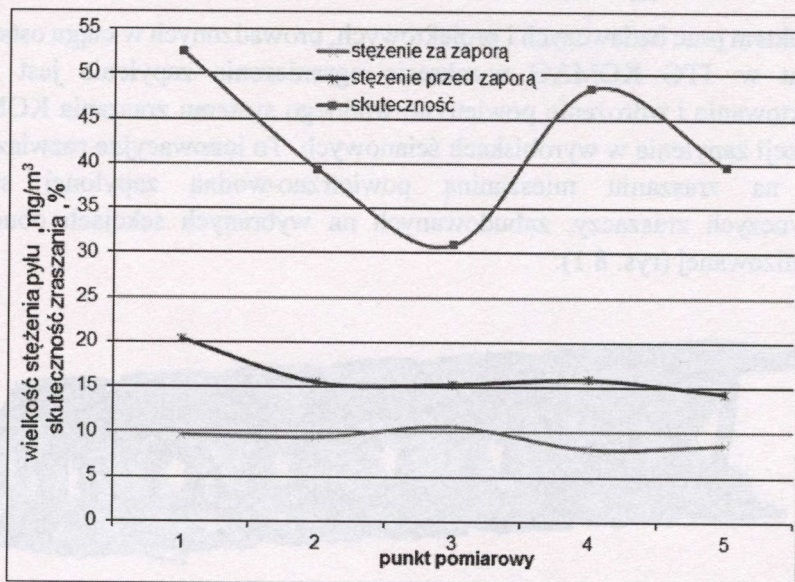


Rys. 7.28. Pył osiadły na kratkach żaluzyjnych [56]

Pierwszy egzemplarz chodnikowej zapory pyłowej CZP BRYZA zabudowano w KWK Budryk, w chodniku podścianowym. Prowadzone przez KD Barbara i ITG KOMAG pomiary redukcji pyłu przy zastosowaniu zapory CZP BRYZA, wykazały skuteczność redukcji pyłu całkowitego o 40÷50% (rys. 7.29). Podczas badań zaobserwowano osadzanie się wilgoci i usunięcie pyłu z ociosów na długości 100 m chodnika [56]. Wilgotność spągu wzrosła na tyle, że możliwe było wydłużenie czasu profilaktyki zabezpieczenia przed powstaniem wybuchu o 50% (z czterech do sześciu dni).

Pozytywne wdrożenie w KWK Budryk skutkowało zainstalowaniem kolejnego egzemplarza chodnikowej zapory przeciwpyłowej CZP BRYZA w chodniku nadścianowym.

Badania zlecone przez kopalnię wykazały, że zapylenie za zaporą zostało zredukowane o około 50% (poniżej NDS).

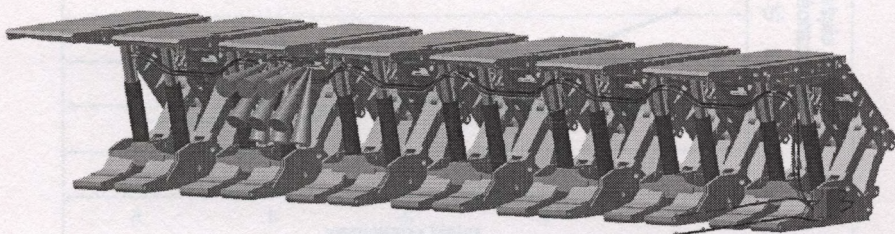


Rys. 7.29. Skuteczność redukcji zapylenia za zaporą przeciwpyłową CYP BRYZA mierzona na szerokości wyrobiska [56]

Opracowane w ITG KOMAG powietrzno-wodne instalacje zraszające przeznaczone do przesypów i do chodników są rozwiązaniami, które zasadniczo obniżają zapylenie powietrza kopalnianego w chodnikach i na drogach transportowych. Są przeznaczone do wszystkich miejsc w kopalni, gdzie występuje istotne, w aspekcie czystości powietrza, źródło pyłu. Uzyskane efekty spełniają oczekiwania kopalń, które dostrzegły dodatkowe zalety w postaci zwiększenia zawilgocenia spągu oraz w przypadku CYP BRYZA, likwidacji pyłu z obrysu wyrobiska. Uniwersalność omówionych rozwiązań pozwala na ich stosowanie w innych obszarach, gdzie istnieje problem zapylenia. W efekcie prac wdrożeniowych w kopalniach zainstalowano cztery zraszacze VIRGA i sześćdziesiąt dwa zraszacze BRYZA-1200, w tym pięć uruchamianych automatycznie. Wdrożono również siedem zraszaczy BRYZA-1200 zabudowanych na kruszarkach węgla. Kopalnie zakupiły także dziesięć sztuk chodnikowej zapory przeciwpyłowej CYP BRYZA.

8. System KOMAG do zraszania w mechanizowanych ścianach węglowych

Efektem prac badawczych i projektowych, prowadzonych w ciągu ostatnich kilku lat w ITG KOMAG w zakresie ograniczenia zapylenia jest m.in. zaprojektowanie i wdrożenie powietrzno-wodnego systemu zraszania KOMAG do redukcji zapylenia w wyrobiskach ścianowych. To innowacyjne rozwiązanie, polega na zraszaniu mieszaniną powietrzno-wodną zapyłonej strefy, z pojedynczych zraszaczy, zabudowanych na wybranych sekcjach obudowy zmechanizowanej (rys. 8.1).

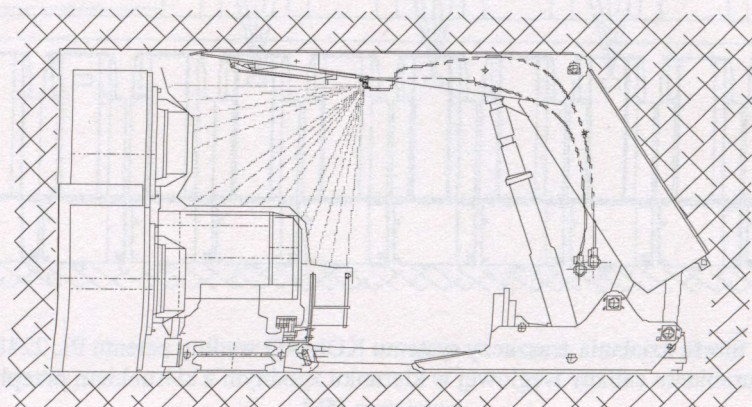


Rys. 8.1. Ścianowy powietrzno-wodny system zraszania KOMAG [58]

Podczas urabiania węgla kombajnem ścianowym wytwarzana jest bardzo duża ilość pyłu, którego stężenie znacznie przekracza wartości NDS. Mimo ciągłej pracy instalacji zraszającej kombajnu ścianowego źródłem zapylenia są: organy urabiające, przenośnik zgrzebłowy oraz przesuujące się sekcje obudowy zmechanizowanej. Obowiązkowe stosowanie środków ochrony indywidualnej powoduje wyraźne pogorszenie komfortu pracy i utrudnia swobodne oddychanie, a niestosowanie ich naraża pracowników na wdychanie pyłów szkodliwych [80].

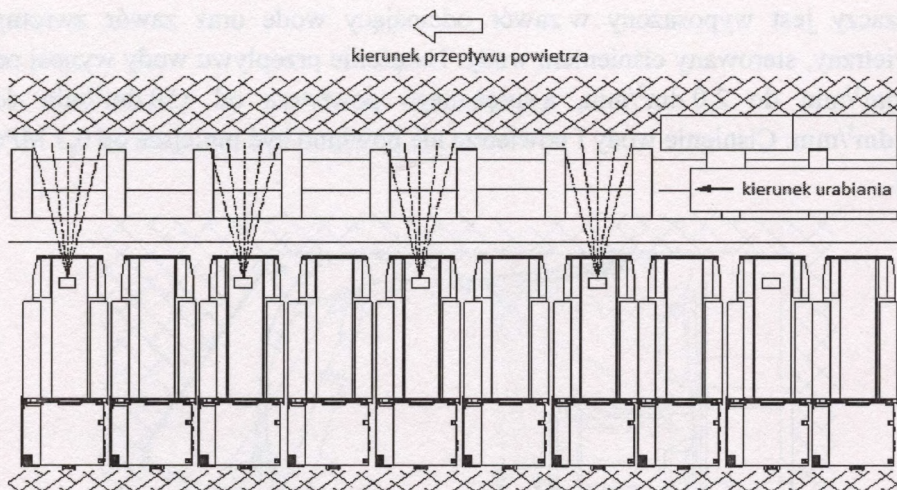
Sposobem na ograniczenie zapylenia w ścianie jest zastosowanie powietrzno-wodnego systemu zraszającego KOMAG. Rozwiązanie to przewiduje działanie zraszaczy w strefie zapyłonej, przy stosowaniu którego obsługa kombajnu nie jest narażona na działanie strumieni zraszających. Zraszacze rozmieszczone na wybranych sekcjach obudowy zmechanizowanej (rys. 8.2) są mocowane do ich stropnic [126]. Wszystkie baterie podłączone są do wspólnych magistrali ze sprężonym powietrzem i z wodą, a media dostarczane do nich są filtrowane i dozowane w ściśle określonych ilościach. Każdy ze

zraszacz jest wyposażony w zawór odcinający wodę oraz zawór zwrotny powietrzny, sterowany ciśnieniem wody. Natężenie przepływu wody wynosi od $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ do $2,0 \text{ dm}^3/\text{min}$, a sprężonego powietrza od $150 \text{ dm}^3/\text{min}$ do $250 \text{ dm}^3/\text{min}$. Ciśnienie wody i powietrza nie powinno być mniejsze od $0,3 \text{ MPa}$ [60].

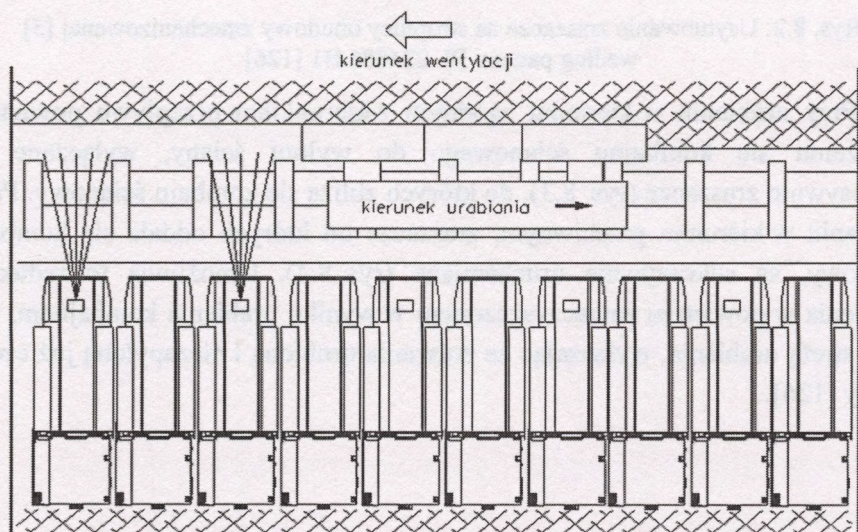


Rys. 8.2. Usytuowanie zraszacza na stropnicy obudowy zmechanizowanej [5]
według patentu PL 224886 B1 [126]

Przy urabianiu w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu powietrza i zbliżaniu się kombajnu ściannowego do wylotu ściany, wyłączane są sukcesywnie zraszacze (rys. 8.3), do których zbliża się kombajn ściannowy. Przy urabianiu w kierunku przeciwnym, zraszacze od których oddala się kombajn ściannowy, są sukcesywnie uruchamiane (rys. 8.4). Umożliwia to redukcję zapylenia w powietrzu zanieczyszczonym w wyniku urabiania kombajnem, tuż poza strefą urabiania, wyłączając ze zraszania urobioną i niezapyloną już część ściany [126].



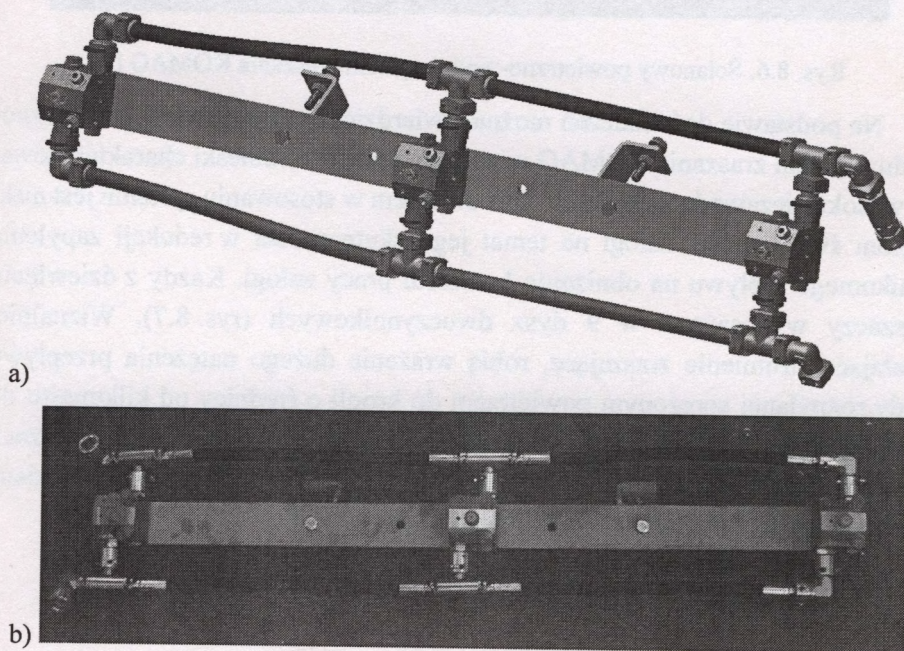
Rys. 8.3. Strefa działania zraszaczy systemu KOMAG według patentu PL 224886 B1, przy urabianiu calizny węglowej w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu powietrza [58]



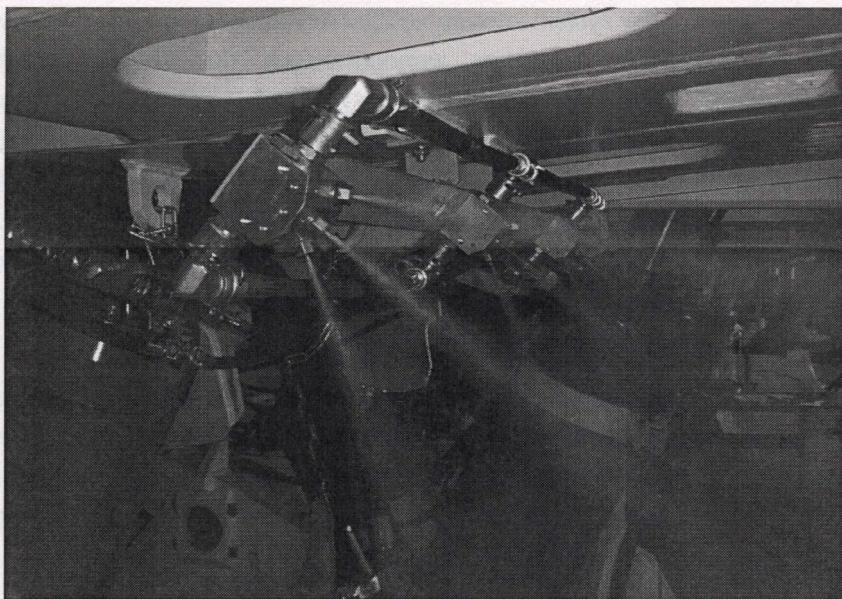
Rys. 8.4. Strefa działania zraszaczy systemu KOMAG według patentu PL 224886 B1, przy urabianiu calizny węglowej w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu powietrza [5]

Powietrzno-wodny system zraszania KOMAG standardowo zbudowany jest z pięciu do dziesięciu zraszaczy zamocowanych do stropnic obudowy zmechanizowanej w odległości od 15 do 30 m między sobą, ostatni zraszacz mocowany jest pod stropnicą ostatniej sekcji obudowy zmechanizowanej, na wylocie ściany. Pierwszy ze zraszaczy jest montowany w odległości, od chodnika podścianowego większej niż długość kombajnu (od 30 m do 40 m od początku ściany). Ma to zapewniać komfort pracy kombajnisty załączającego i wyłączającego zraszacze, do których zbliża się kombajn ścianowy oraz umożliwić wykonywanie innych prac w ścianie przez pracowników.

W każdym ze zraszaczy przewidziano 5÷9 dysz w zależności od wysokości ściany i spodziewanej wielkości zapylenia (rys. 8.5). W efekcie realizowanych prac, w ZG Sobieski wdrożono pierwszy zestaw systemu zraszania KOMAG wyprodukowany przez FIW Elektron s.c. Zraszacze były zamontowane do obudowy zmechanizowanej FAZOS FRS-22/46-2x30-55 (rys. 8.6).



Rys. 8.5. Zraszacz powietrzno-wodnego systemu zraszania KOMAG do ściany wydobywczej: a) model komputerowy, b) egzemplarz badawczy [5]



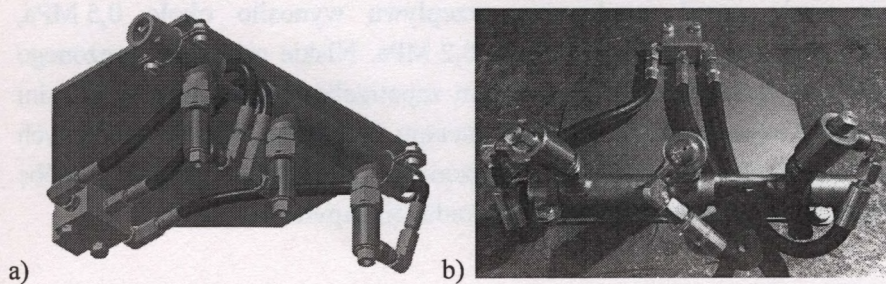
Rys. 8.6. Ścianowy powietrzno-wodny system zraszania KOMAG [5]

Na podstawie doświadczeń można stwierdzić, że zastosowany powietrzno-wodny system zraszania KOMAG w podziemiach ZG Sobieski charakteryzował się wysoką niezawodnością pracy. Utrudnieniem w stosowaniu systemu jest niski poziom świadomości załogi na temat jego skuteczności w redukcji zapylenia i znikomego wpływu na obniżenie komfortu pracy załogi. Każdy z dziewięciu zraszaczy wyposażono w 9 dysz dwuczynninkowych (rys. 8.7). Wizualnie, działające strumienie zraszające, robią wrażenie dużego natężenia przepływu wody rozpylanej sprężonym powietrzem do kropli o średnicy od kilkunastu do kilkudziesięciu mikrometrów. Natężenie przepływu wody w zraszaczach wynosiło $2 \text{ dm}^3/\text{min}$ a sprężonego powietrza około $250 \text{ dm}^3/\text{min}$. Przewidziane ciśnienie zasilania obu mediów wynosiło około $0,4 \text{ MPa}$.



Rys. 8.7. Zraszacz systemu KOMAG podczas testów w ZG Sobieski [5]

Do niskich ścian, o wysokości poniżej 2 m, opracowano system zraszania KOMAG-n z powietrzno-wodnym zraszaczem, umożliwiającym niezależne wychylanie kierunków strumieni zraszających i kierowanie ich w miejsca największego zapylenia [119] (rys. 8.8). Każdy zraszacz wyposażono w trzy dysze zraszające. Konstrukcja zraszacza różni się zasadniczo od rozwiązania zastosowanego w ZG Sobieski. Każda z trzech dysz dwuczynninkowych zamontowana w zraszaczu ma możliwość niezależnego wychylania osi strumieni zraszających i skierowanie w pożądanym kierunku. Poza budową zraszaczy i przeznaczeniem do niskich ścian, system zraszania KOMAG-n ma taką samą budowę połączeń, sterowanie i zasadę działania jak system zraszania KOMAG.



Rys. 8.8. Zraszacz KOMAG-n według wzoru użytkowego PL 68496 Y1:
a) model komputerowy, b) egzemplarz badawczy [119]

Egzemplarz doświadczalny tego rozwiązania zainstalowano i przebadano w KWK Budryk [60]. Równolegle w KWK Sośnica-Makoszowy przeprowadzono testy ze zraszaczami systemu KOMAG [58].

Celem sprawdzenia skuteczności redukcji zapylenia z użyciem systemów zraszania KOMAG i KOMAG-n przeprowadzono badania w wyrobiskach ścianowych KWK Sośnica-Makoszowy i KWK Budryk. W pierwszej z nich był zainstalowany jeden zraszacz zasilany sprężonym powietrzem o zaniżonym ciśnieniu około 0,1 MPa, a w drugim zainstalowane były trzy zraszacze o prawidłowych parametrach zasilania.

Pomiary zapylenia i ocenę skuteczności redukcji zapylenia przy zastosowaniu powietrzno-wodnego systemu KOMAG do zraszania ścian przeprowadzono w KWK Sośnica-Makoszowy w ścianie o długości 202,5 m (135 sekcji obudowy zmechanizowanej) i wysokości $2,1 \div 2,2$ m. Do urabiania w ścianie zastosowano kombajn ścianowy KSW-880EU. Odstawę realizowano chodnikiem nadścianowym, przez który wypływa ze ściany, zużyte, zapyłone powietrze. W ścianie zabudowano jeden zraszacz na 118 sekcji.

Pomiary wielkości stężenia pyłu prowadzono 6 m od zraszacza (122 sekcja) oraz 12 m od zraszacza (126 sekcja). Pomiary te wykonano do wariantów z działającym i z wyłączonym zraszaczem systemu KOMAG (rys. 8.9). Zraszacz wyposażono w 6 dysz zraszających o sumarycznym natężeniu przepływu wody $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ i natężeniu przepływu sprężonego powietrza około $50 \text{ dm}^3/\text{min}$. Ciśnienie wody przed regulatorem przepływu wynosiło około 0,5 MPa, a ciśnienie sprężonego powietrza około 0,2 MPa. Niskie ciśnienie sprężonego powietrza było spowodowane jego dużym zapotrzebowaniem do prac kopalni związanych z rozrzedzaniem stężenia metanu w ścianie. Mimo zaniżonych wartości ciśnienia i wydatku sprężonego powietrza podjęto próbę przeprowadzenia pomiarów skuteczności redukcji zapylenia w ścianie.



a)

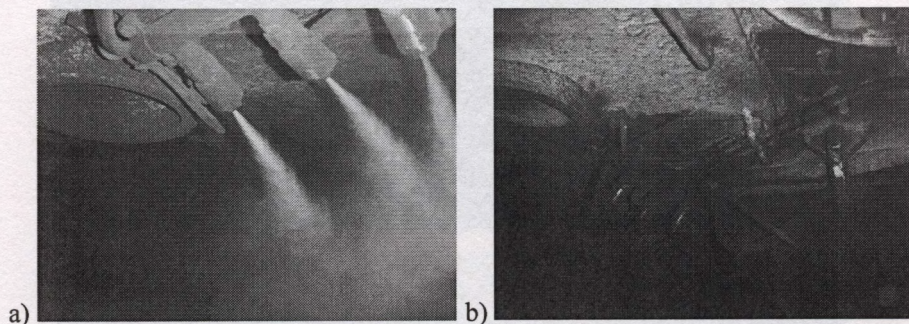


b)

Rys. 8.9. Zraszacz KOMAG zainstalowany w ścianie w KWK Makoszowy:
a) zraszacz aktywny, b) zraszacz wyłączony [58]

W KWK Budryk zabudowano trzy zraszacze rozmieszczone na dwudziestej, trzydziestej piątej i pięćdziesiątej sekcji obudowy zmechanizowanej, licząc od wylotu ściany, którędy wypływa zużyte powietrze. Każdy zraszacz miał natężenie przepływu wody $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ a sprężonego powietrza około $150 \text{ dm}^3/\text{min}$. Ciśnienie sprężonego powietrza wynosiło $0,4 \text{ MPa}$, a wody przed regulatorem przepływu około $0,6 \text{ MPa}$.

Pomiary zapylenia i ocenę skuteczności redukcji stężenia pyłu przy stosowaniu powietrzno-wodnego systemu zraszania typu KOMAG-n wykonano w KWK Budryk w ścianie o długości 241,5 m (161 sekcji) i wysokości $2,4 \div 2,8$ m. Do urabiania w ścianie zastosowano kombajn ścianowy KSW-880EU. Prędkość powietrza w ścianie wynosiła 2,7 m/s.

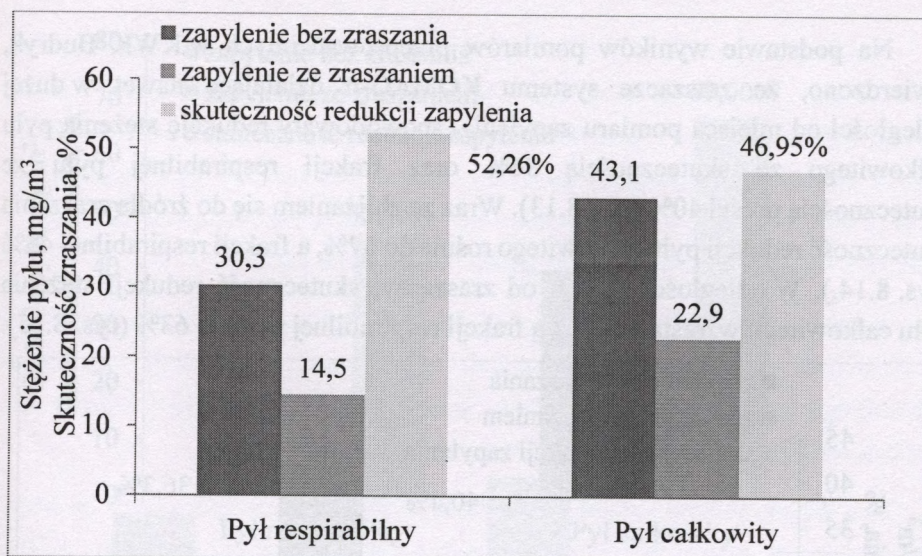


Rys. 8.10. Zraszacz KOMAG-n zainstalowany w ścianie w KWK Budryk:
a) zraszacz aktywny, b) zraszacz wyłączony [60]

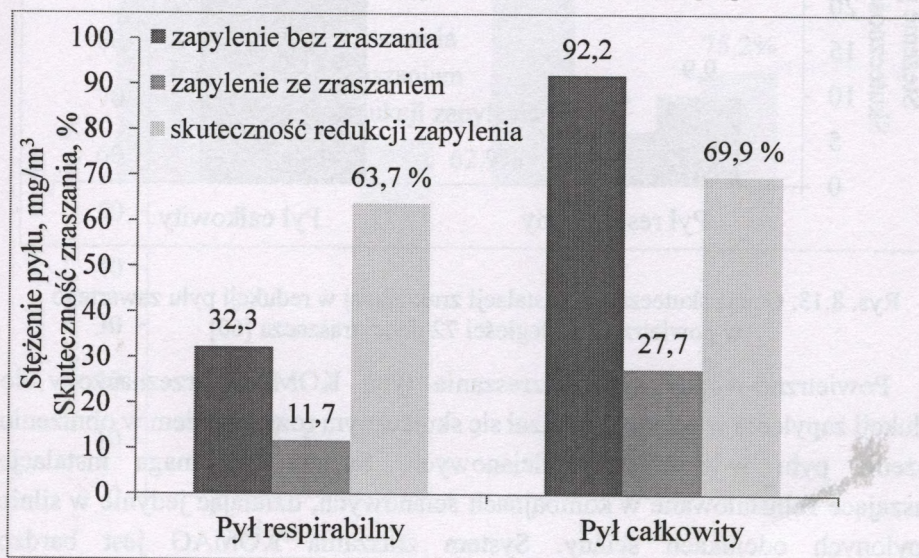
Pomiary stężenia pyłu w powietrzu wykonano do wariantów z działającymi i niedziałającymi zraszczaczami systemu KOMAG-n (rys. 8.10) w konfiguracji:

- na wysokości drugiej sekcji w odległości 72 m od zraszaczy z jednym działającym zraszczaczem,
- na wysokości drugiej sekcji w odległości 27 m od zraszaczy z trzema działającymi zraszczaczami,
- na wysokości jedenastej sekcji, w odległości ok. 13,5 m od zraszaczy z trzema działającymi zraszczaczami,
- na wysokości drugiej sekcji, bez stosowania zraszania,
- na wysokości jedenastej sekcji, bez stosowania zraszania.

W wyniku pomiarów przeprowadzonych w KWK Sośnica-Makoszowy, stwierdzono, że stosowanie zraszania obniżyło stężenie pyłu około dwukrotnie w odległości 12 m od źródła zraszania (rys. 8.11) i około trzykrotnie w odległości 6 m od zraszacza (rys. 8.12). Wyniki wskazują, że wraz ze wzrostem odległości od zraszacza zmniejsza się skuteczność redukcji pyłu zawartego w powietrzu.

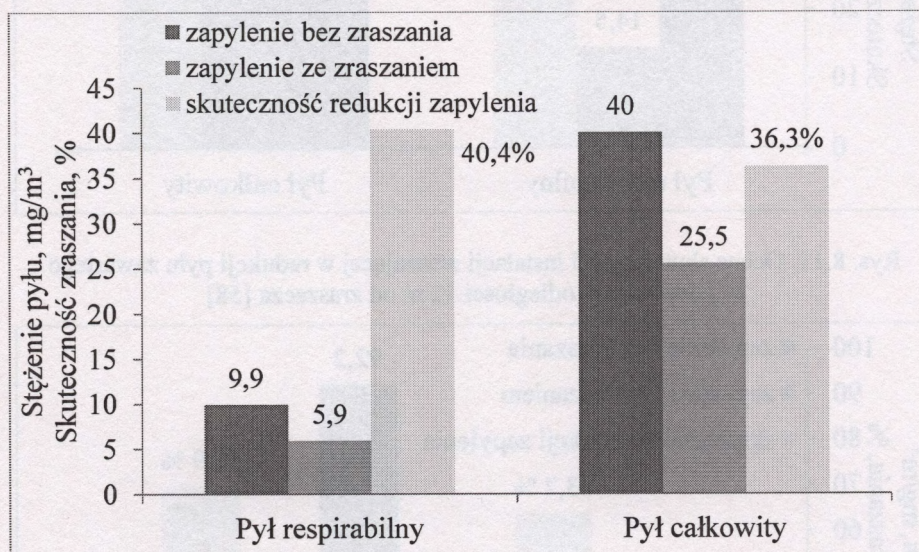


Rys. 8.11. Ocena skuteczności instalacji zraszającej w redukcji pyłu zawartego w powietrzu w odległości 12 m od zraszacza [58]



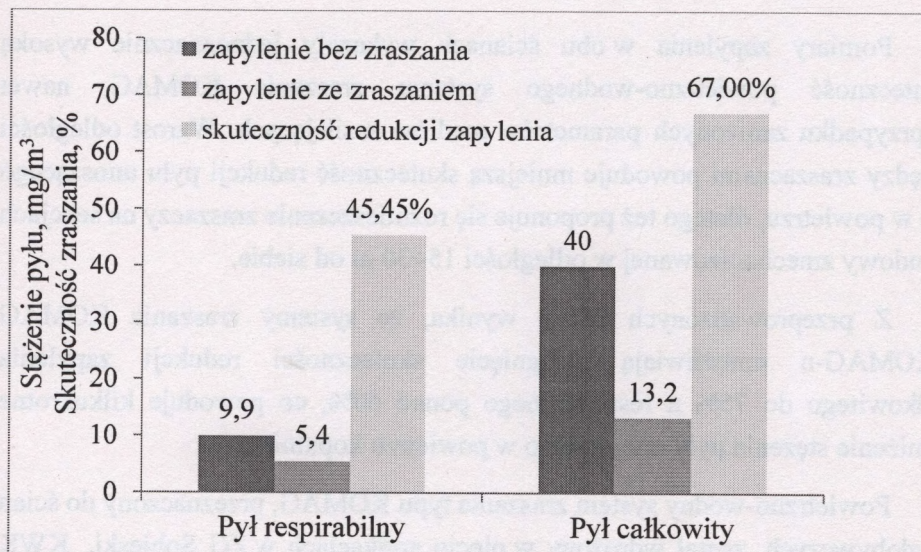
Rys. 8.12. Ocena skuteczności instalacji zraszającej w redukcji pyłu zawartego w powietrzu w odległości 6 m od zraszacza [58]

Na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych w KWK Budryk, stwierdzono, że zraszacze systemu KOMAG-n działające nawet w dużej odległości od miejsca pomiaru zapylenia, spowodowały redukcję stężenia pyłu całkowitego ze skutecznością 36% oraz frakcji respirabilnej pyłu ze skutecznością ponad 40% (rys. 8.13). Wraz ze zbliżaniem się do źródła zraszania skuteczność redukcji pyłu całkowitego rośnie do 67%, a frakcji respirabilnej 45% (rys. 8.14.). W odległości 13,5 m od zraszaczy, skuteczność redukcji stężenia pyłu całkowitego wzrasta do 75% a frakcji respirabilnej pyłu do 63% (rys. 8.15).

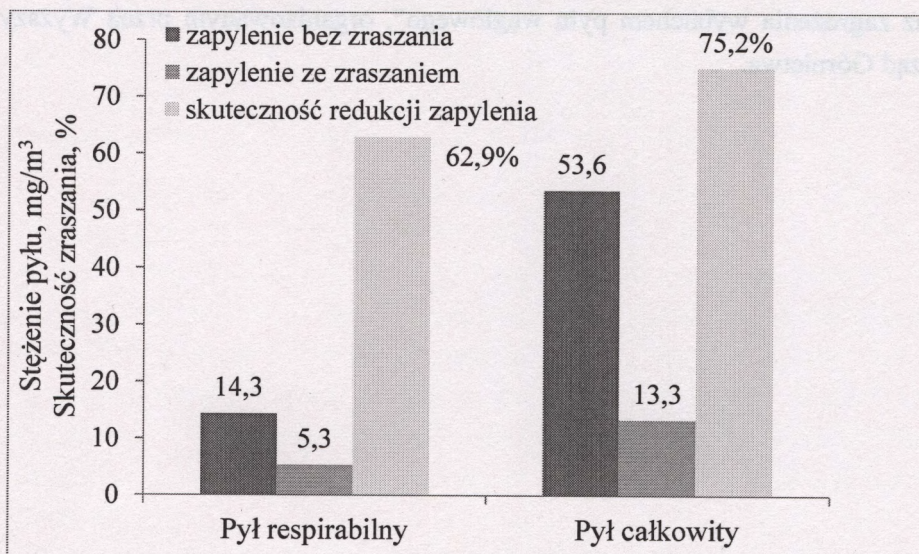


Rys. 8.13. Ocena skuteczności instalacji zraszającej w redukcji pyłu zawartego w powietrzu w odległości 72 m od zraszacza [60]

Powietrzno-wodny system zraszania typu KOMAG przeznaczony do redukcji zapylenia w ścianach, okazał się skutecznym rozwiązaniem w obniżeniu stężenia pyłu w wyrobiskach ścianowych. System wspomaga instalacje zraszające zainstalowane w kombajnach ścianowych, działając jedynie w silnie zapyłonych odcinkach ściany. System zraszania KOMAG jest bardzo elastycznym rozwiązaniem w zakresie możliwości jego zastosowania i konfiguracji. Duża uniwersalność systemu umożliwia dobór właściwej, potwierdzonej liczby zraszaczy rozmieszczanych co 30 m, dysz w zraszaczach i parametrów zasilania.



Rys. 8.14. Ocena skuteczności instalacji zraszającej w redukcji pyłu zawartego w powietrzu w odległości 27 m od zraszacza [60]



Rys. 8.15. Ocena skuteczności instalacji zraszającej w redukcji pyłu zawartego w powietrzu w odległości 13,5 m od zraszacza [60]

Pomiary zapylenia w obu ścianach wykazały jednoznacznie wysoką skuteczność powietrzno-wodnego systemu zraszania KOMAG, nawet w przypadku zaniżonych parametrów mediów zasilających. Wzrost odległości między zraszaczami powoduje mniejszą skuteczność redukcji pyłu unoszącego się w powietrzu, dlatego też proponuje się rozmieszczenie zraszaczy na sekcjach obudowy zmechanizowanej w odległości 15÷30 m od siebie.

Z przeprowadzonych badań wynika, że systemy zraszania KOMAG i KOMAG-n umożliwiają osiągnięcie skuteczności redukcji zapylenia całkowitego do 75% a respirabilnego ponad 60%, co powoduje kilkukrotne obniżenie stężenia pyłu unoszonego w powietrzu kopalnianym.

Powietrzno-wodny system zraszania typu KOMAG, przeznaczony do ścian wydobywczych, został wdrożony w pięciu aplikacjach w ZG Sobieski, KWK Borynia i KWK Jasmos-Borynia. Został również nagrodzony w 2014 roku w konkursie pt.: „Z innowacją bezpieczniej w górnictwie - redukcja zapylenia oraz zagrożenia wybuchem pyłu węglowego”, organizowanym przez Wyższy Urząd Górnictwa.

9. Wykorzystanie zraszania powietrzno-wodnego do ograniczania wybuchu pyłu węglowego

Jednym ze sposobów niedopuszczenia do przenoszenia się wybuchu pyłu węglowego są strefy zabezpieczające, które się tworzy poprzez opylanie pyłem kamiennym lub zmywanie wodą określonych przepisami i normami odcinków wyrobisk górniczych [46, 47, 83]. Są one tworzone na całym obwodzie wyrobiska i we wszystkich kierunkach od miejsc możliwego zapoczątkowania wybuchu pyłu węglowego. Skuteczność ograniczenia lub zatrzymania wybuchu będzie zależała od jakości wykonania stref zabezpieczających.

Utrzymywanie stref zabezpieczających przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego jest bardzo uciążliwe i wymaga cyklicznych kontroli ich stanu. Strefy zabezpieczające zarówno suche i mokre są wykonywane zazwyczaj ręcznie, bez wspomagania środkami mechanizacyjnymi. Kopalnie węgla kamiennego posiadają zwykle od kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów stref zabezpieczających do utrzymania. Wykonywane przez pracowników strefy zwykle robione są z właściwym współczynnikiem bezpieczeństwa, tzn., że strefa zabezpieczająca jest wykonywana z nadmierną ilością pyłu lub wody. Podczas wykonywania stref zabezpieczających (z wyjątkiem czynności kontrolnych), jest dokonywana jedynie wizualna ocena jakości jej wykonania.

W latach 2012÷2015 ITG KOMAG wraz z GIG (w tym KD Barbara) i Kompanią Węglową S.A. KWK Brzeszcze (obecnie ZG Brzeszcze - Tauron Wydobycie S.A.) zrealizowały projekt rozwojowy o akronimie MEZAP [51], w ramach którego przebadano różnymi metodami kształtowanie się zapylenia w dwustumetrowych strefach zabezpieczających. Przeprowadzono pomiary zapylenia, usystematyzowano wyniki badań, przeprowadzono modelowanie mechanizmu gromadzenia się pyłu węglowego w strefach zabezpieczających i zaproponowano propozycję rozwiązania strefy zabezpieczającej, które poddano badaniom.

Głównym celem prac w projekcie było zaproponowanie takiego rozwiązania tworzenia i utrzymywania strefy zabezpieczającej, aby zminimalizować zaangażowanie człowieka w to uciążliwe działanie i doprowadzić do optymalnej jakości strefy zabezpieczającej.

Program badań przewidywał prowadzenie pomiarów w strefach zabezpieczających przylegających bezpośrednio do frontów eksploatacyjnych lub przodków chodnikowych. Głównym zadaniem badań było zebranie niezbędnych informacji by można zamodelować mechanizm gromadzenia się wybuchowego pyłu węglowego w pobliżu frontów eksploatacyjnych w aspekcie identyfikacji, oceny i niwelacji możliwości powstania jego wybuchu.

Badania prowadzono w strefach zabezpieczających, w wyrobiskach KWK Brzeszcze, w trakcie procesu wydobywczego. Badania eksploatacyjne przeprowadzono w [69]:

- chodniku taśmowym nr 747 ściany 710 (ściany I),
- chodniku wentylacyjnym nr 749 ściany 710 (ściany I),
- chodniku taśmowym nr 551 ściany 121 (ściany II),
- chodniku wentylacyjnym nr 552 ściany 121 (ściany II),
- przodku nr 568 (przodek kamienny),
- przodku nr 567 (przodek węglowy),
- przekopie taśmowym poz. 630 m, strona południowa (rejon zbiornika wyrównawczego),
- przekopie taśmowym poz. 630 m, strona północna (rejon zbiornika wyrównawczego).

Zakres badań obejmował między innymi [69]:

- pobieranie prób węgla z miejsca jego wytworzenia,
- pobieranie prób pyłu zalegającego,
- pomiar intensywności osiadania pyłu,
- pomiar pyłu zawieszonego w powietrzu z użyciem spektrometrów SMPS i APS,
- pomiar pyłu zawieszonego metodą optyczną z wykorzystaniem analizatora IPSQ,
- pomiar stężenia pyłu w powietrzu metodą grawimetryczną z użyciem pyłomierzy CIP-10,
- pomiar zapylenia metodą optyczną z wykorzystaniem pyłomierza PŁ-2.

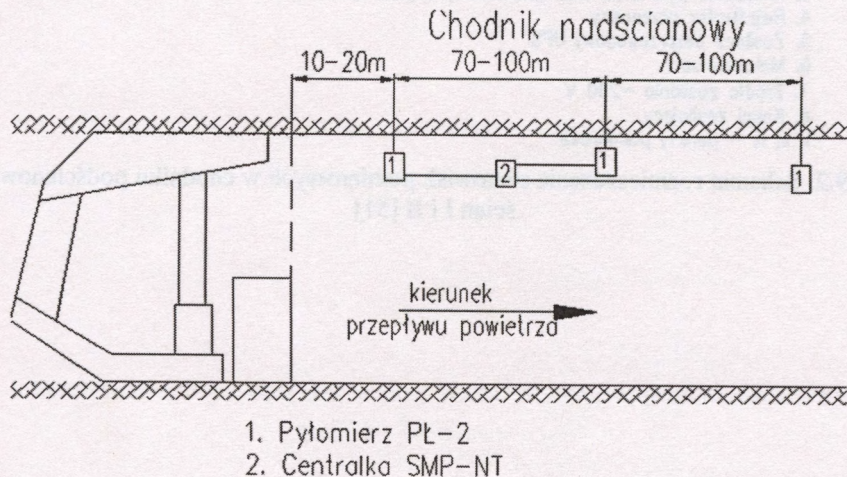
Pomiary pobierania prób węgla i pyłu oraz pomiar intensywności osiadania pyłu były kontynuowane w laboratorium, gdzie dokonano pomiarów masy pyłu

w poszczególnych punktach pomiarowych, pomiarów zwilżalności pyłów, oznaczenia zawartości części lotnych i popiołu metodą wagową oraz analizę sitową.

Do przeprowadzenia badań w strefach zabezpieczających KWK Brzeszcze przewidziano m.in. następujące przyrządy i aparaturę pomiarową:

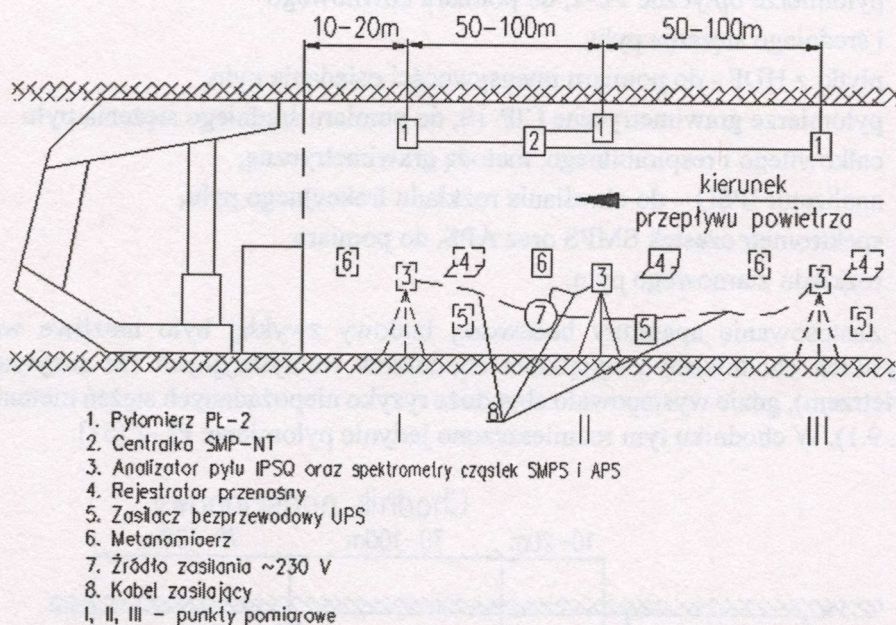
- pyłomierze optyczne PŁ-2, do pomiaru chwilowego i średniego stężenia pyłu,
- płytki z HDF - do pomiaru intensywności osiadania pyłu,
- pyłomierze grawimetryczne CIP-10, do pomiaru średniego stężenia pyłu całkowitego i respirabilnego, metodą grawimetryczną,
- analizator IPSQ – do określania rozkładu frakcyjnego pyłu,
- spektrometr cząstek SMPS oraz APS, do pomiaru rozkładu ziarnowego pyłu.

Zastosowanie aparatury badawczej budowy zwykłej było możliwe we wszystkich chodnikach z wyjątkiem chodników wentylacyjnych (ze zużytym powietrzem), gdzie występowało zbyt duże ryzyko niepożądanych stężeń metanu (rys. 9.1). W chodniku tym rozmieszczono jedynie pyłomierze PŁ-2 [51].

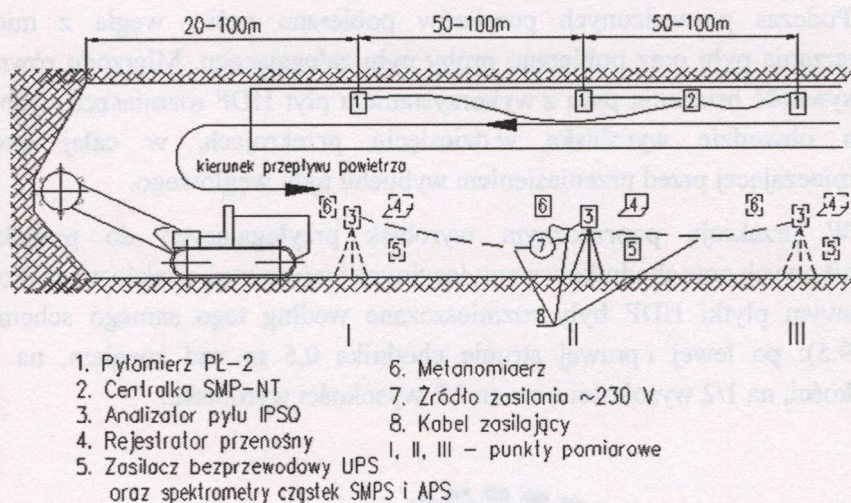


Rys. 9.1. Schemat rozmieszczenia pyłomierzy PŁ-2 w chodniku wentylacyjnym ścian I i II [51]

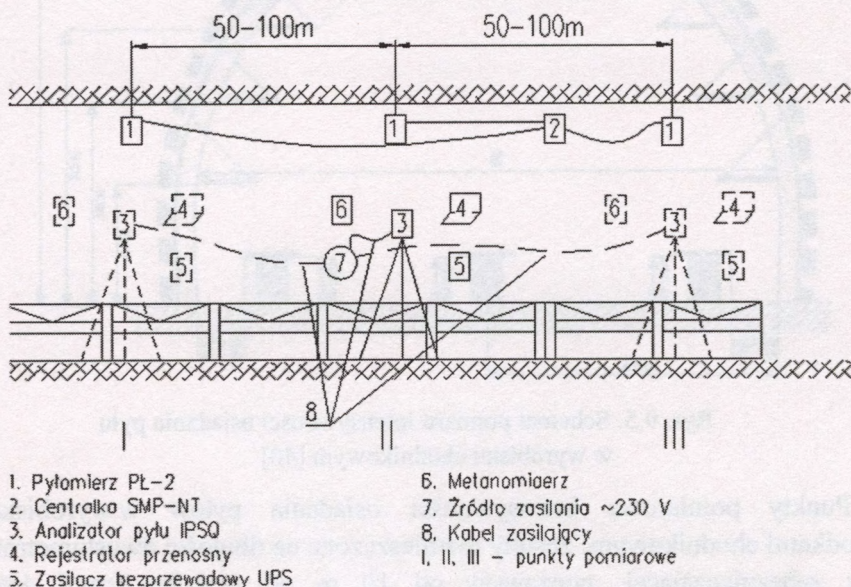
W chodnikach taśmowych, przylegających do ścian nr 710 i nr 121 (rys. 9.2) rozmieszczono pyłomierze PL-2, analizator IPSQ, spektrometry cząstek SMPS i APS oraz pyłomierze grawimetryczne CIP-10. Te same urządzenia zastosowano w przodku węglowym, przodku kamiennym (rys. 9.3) oraz w przekopie taśmowym (rys. 9.4).



Rys. 9.2. Schemat rozmieszczenia stanowisk pomiarowych w chodniku podścianowym ścian I i II [51]



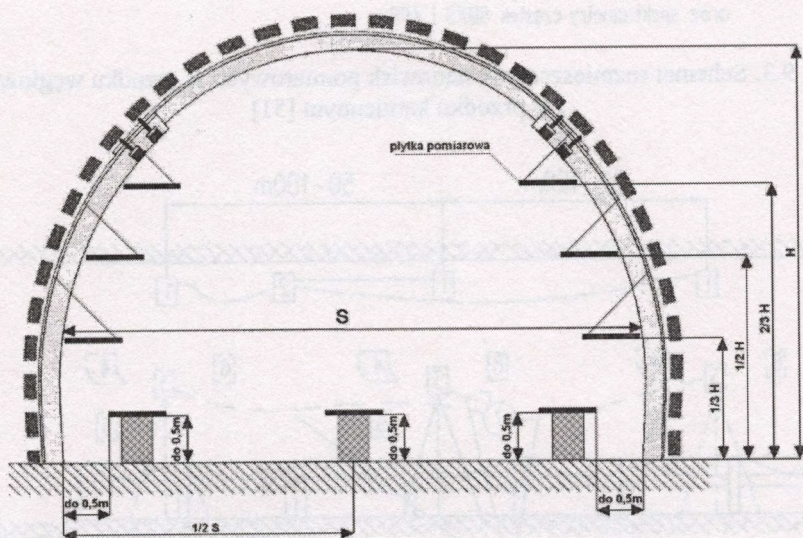
Rys. 9.3. Schemat rozmieszczenia stanowisk pomiarowych w przodku węglowym i w przodku kamiennym [51]



Rys. 9.4. Schemat rozmieszczenia stanowisk pomiarowych w rejonie zbiornika węgla [51]

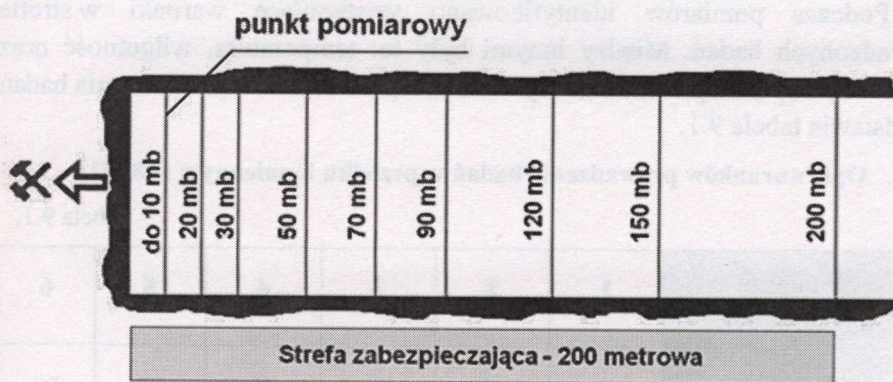
Podczas prowadzonych pomiarów pobierano próby węgla z miejsc wytwarzania pyłu oraz pobierano próby pyłu zalegającego. Mierzono również intensywność osiadania pyłu z wykorzystaniem płyt HDF rozmieszczonych na całym obwodzie wyrobiska w dziesięciu przekrojach, w całej strefie zabezpieczającej przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego.

W przekroju poprzecznym wyrobisk przylegających do przodków chodnikowych oraz chodników wentylacyjnych i taśmowych a także w przekopie taśmowym płytki HDF były rozmieszczane według tego samego schematu (rys. 9.5): po lewej i prawej stronie chodnika 0,5 m nad spągiem, na 1/3 wysokości, na 1/2 wysokości oraz na 2/3 wysokości wyrobiska.



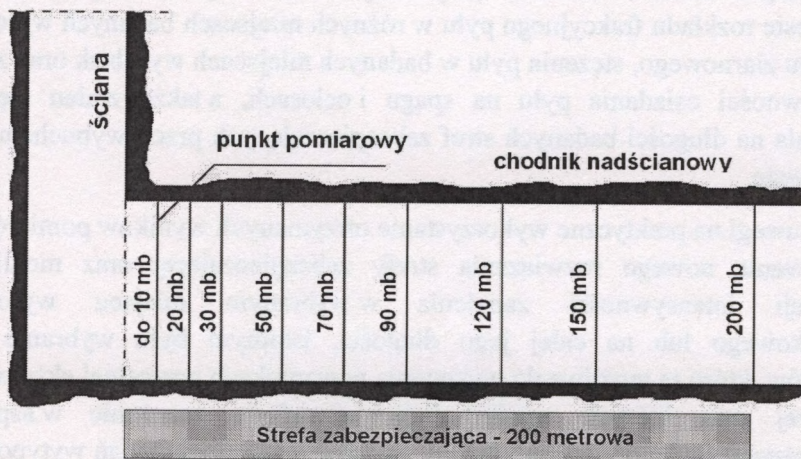
Rys. 9.5. Schemat pomiaru intensywności osiadania pyłu w wyrobisku chodnikowym [40]

Punkty pomiarowe intensywności osiadania pyłów w wyrobiskach z przodkami chodnikowymi zostały rozmieszczone na długości dwustumetrowej strefy zabezpieczającej, począwszy od 10 m od przodka (czyli źródła wytwarzania pyłu), a skończywszy na 200 m od przodka zgodnie ze schematem jak na rysunku 9.6 [40].



Rys. 9.6. Schemat lokalizacji punktów pomiarowych przy pomiarze intensywności osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej drążonego przodka wyrobiska chodnikowego [40]

Podobnie zlokalizowano punkty pomiarowe do oceny intensywności osiadania pyłów w wyrobiskach korytarzowych przylegających do ściany. Zostały one rozmieszczone na długości dwustumetrowej strefy zabezpieczającej począwszy od 10 m od skrzyżowania chodnika ze ścianą przyjętej jak źródło wytwarzania pyłu, a skończywszy na 200 m od przodka zgodnie ze schematem jak na rysunku 9.7 [40].



Rys. 9.7. Schemat lokalizacji punktów pomiarowych przy pomiarze intensywności osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej ścian I i II [40]

Podczas pomiarów identyfikowano występujące warunki w strefie prowadzonych badań. Między innymi były to: temperatura, wilgotność oraz prędkość przepływu powietrza. Przykładowy opis warunków prowadzenia badań przedstawia tabela 9.1.

Opis warunków prowadzenia badań w przodku kamiennym 568 [51]

Tabela 9.1.

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6
Odległość od kombajnu, m	10	30	45	50	70	90
Temperatura, °C	28,0	29,0	29,3	30	29,0	30
Wilgotność, %	66,0	66,7	65,8	71,	68,8	71,7
Prędkość przepływu powietrza V_p , m/s	0,4	0,2	0,2	0,7	1,0	0,9

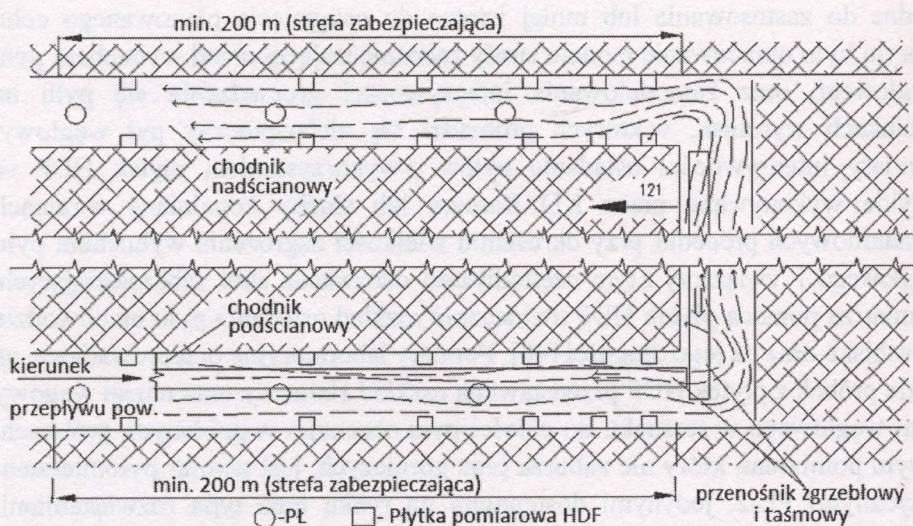
Przeprowadzone badania przyniosły wiele wyników pomiarowych w zakresie rozkładu frakcyjnego pyłu w różnych miejscach badanych wyrobisk, rozkładu ziarnowego, stężenia pyłu w badanych miejscach wyrobisk oraz zmian intensywności osiadania pyłu na spągu i ociosach, a także zmian stężenia zapylenia na długości badanych stref zabezpieczających przed wybuchem pyłu węglowego.

Z uwagi na praktyczne wykorzystanie otrzymanych wyników pomiarów do opracowania nowego rozwiązania strefy zabezpieczającej oraz możliwość predykcji intensywności zapylenia w wybranym miejscu wyrobiska chodnikowego lub na całej jego długości, istotnym było wybranie tych pomiarów, które są możliwe do wykonania w warunkach normalnej eksploatacji górniczej oraz których wyniki mają największe znaczenie w aspekcie bezpiecznego funkcjonowania kopalni. Spośród wszystkich badań wytypowano pomiary intensywności osiadania pyłu z wykorzystaniem płytek HDF oraz pomiary stężenia pyłu w powietrzu kopalnianym wykonywane za pomocą pyłomierzy optycznych PŁ-2. Inne techniki pomiarowe uznano za technicznie

trudne do zastosowania lub mniej istotne do osiągnięcia planowanego celu, którym było opracowanie modelu strefy zabezpieczającej przed wybuchem pyłu węglowego oraz zamodelowania intensywności gromadzenia się pyłu na odcinkach wyrobisk, w których gromadzi się niebezpieczny pył węglowy. Pomiary intensywności osiadania pyłów z wykorzystaniem płytek HDF są zwykle wykonywane przez KD Barbara lub służby kopalniane w ramach standardowych procedur przy określaniu wielkości zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i związanej z tym częstotliwości odnawiania stref zabezpieczających. Pomiar za pomocą płytek HDF uwidacznia rozkład osiadania pyłu na obwodzie wyrobiska oraz na jego długości [40]. Pomiary laboratoryjne przeprowadzane na bazie próbek z płytek HDF przedstawiają rozkład ziarnowy oraz udział wagowy pyłu węglowego w stosunku do całości pyłu obecnego w pobranych próbkach. Innym pomiarem, który nie zaburza prac górniczych, jest pomiar pyłomierzami optycznymi PŁ-2, jedynymi dostępnymi na rynku tego typu rozwiązaniami. Pyłomierze PŁ-2 dokonują ciągłego pomiaru w powietrzu kopalnianym zmian stężenia cząstek pyłu o średnicy do 10 μm . Pyłomierze rozmieszczone wzdłuż strefy zabezpieczającej pokazują zmiany zapylenia w czasie, na całej długości chodnika [61].

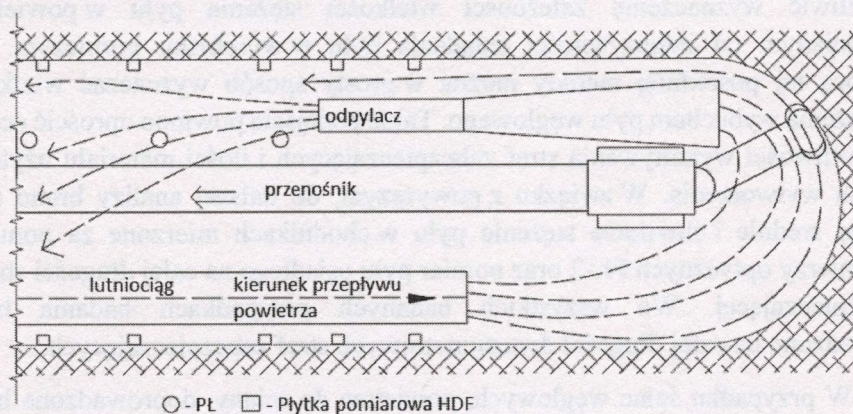
Powiązanie pomiarów intensywności osiadania pyłu węglowego z pomiarem stężenia zapylenia na długości strefy zabezpieczającej może umożliwić wyznaczenie zależności wielkości stężenia pyłu w powietrzu kopalnianym od intensywności osiadania pyłu w wyrobisku górniczym. Za pomocą tej pośredniej metody można w prosty sposób wyznaczać wielkość zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. Takie podejście powinno uprościć ocenę częstotliwości wykonywania stref zabezpieczających i ilości materiału użytego do ich wytworzenia. W związku z powyższym, do dalszej analizy brano pod uwagę średnie i chwilowe stężenie pyłu w chodnikach mierzone za pomocą pyłomierzy optycznych PŁ-2 oraz pomiar pyłu osiadłego na całej długości strefy zabezpieczającej. We wszystkich badanych przypadkach badania były prowadzone na całej długości dwustumetrowych stref zabezpieczających.

W przypadku ścian węglowych, powietrze do ściany, doprowadzone było chodnikiem podścianowym (taśmowym) i po przepłynięciu przez ścianę wypływało chodnikiem nadścianowym (wentylacyjnym) w kierunku szybu wentylacyjnego (rys. 9.8).



Rys. 9.8. Schemat lokalizacji punktów pomiarowych w wyrobiskach otaczających ściany nr I i nr II [61]

W przodku węglowym i kamiennym powietrze doprowadzono lutnią wentylacyjną do przodka skąd po odpyleniu odpylaczem było odprowadzane chodnikami jako powietrze zużyte (rys. 9.9).



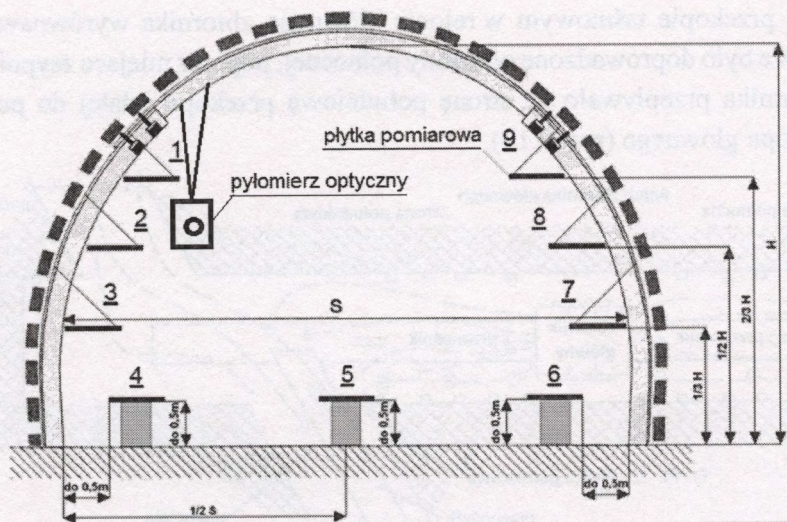
Rys. 9.9. Schemat lokalizacji punktów pomiarowych w rejonie w pochylni badawczej z przodkiem węglowym i przekopie badawczym z przodkiem kamiennym [51]

W przekopie taśmowym w rejonie głównego zbiornika wyrównawczego, powietrze było doprowadzone od strony północnej, poprzez miejsce zsypani węgla do zbiornika przepływało na stronę południową przekopu i dalej do pochylni z przekopu głównego (rys. 9.10).



Rys. 9.10. Lokalizacja punktów pomiarowych w rejonie zbiornika [51]

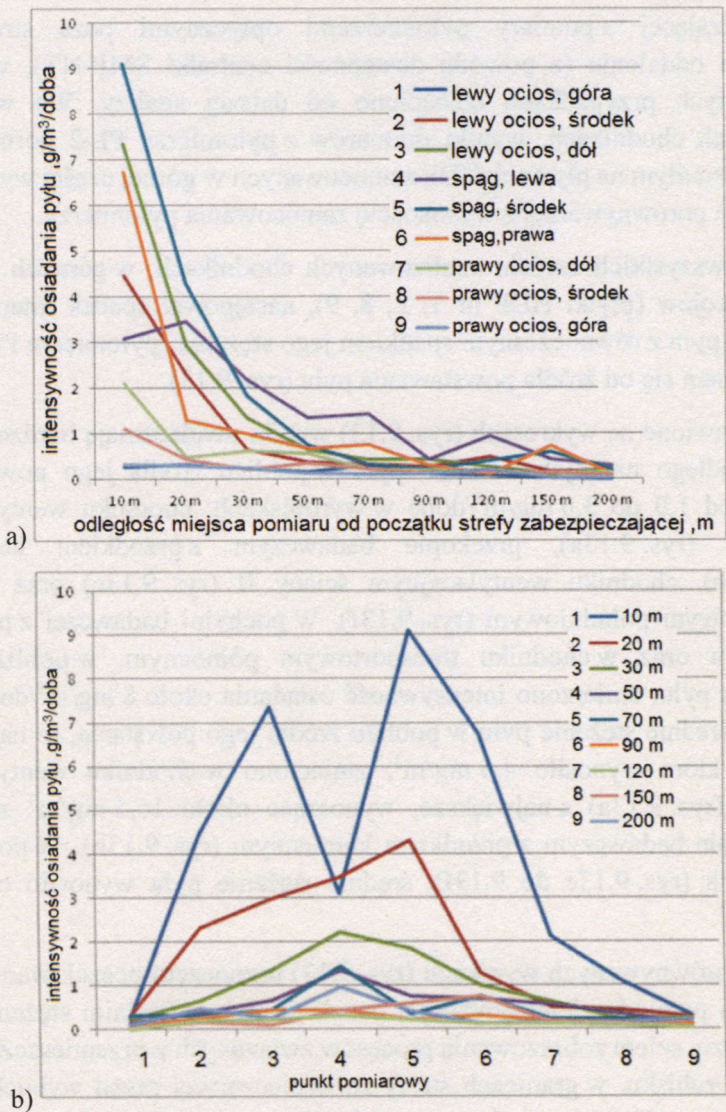
Pomiary intensywności osiadania pyłu były realizowane na dziewięciu płytkach pomiarowych rozmieszczonych na obrysie chodnika: 3 płytki nad spągami i po 3 płytki na każdym z ociosów (rys. 9.11). Pomiarów, zgodnie z przyjętą metodyką, dokonywano jednocześnie w dziesięciu wybranych punktach rozmieszczonych na dwustumetrowym odcinku każdego z badanych chodników (rys. 9.6 i 9.7). Do określenia zależności pomiędzy intensywnością osiadania pyłu a jego stężeniem w powietrzu uwzględniono pomiary wykonane z użyciem płytek pomiarowych HDF umieszczonych w górnych częściach wyrobiska tj. na wysokości zbliżonej do zawieszenia pyłomierzy optycznych PŁ-2. We wszystkich badanych chodnikach umieszczono od dwóch do trzech pyłomierzy, na całej długości strefy zabezpieczającej.



Rys. 9.11. Płytki HDF do pomiaru intensywności osiadania pyłu na obrysie wyrobiska w strefie zabezpieczającej [63]

Pomiary obiema metodami wykonywano równocześnie przez całą dobę [40, 61]. Pomiary te każdorazowo powtarzane były w każdym z badanych chodników.

Płytki pomiarowe HDF, którymi wykonywano pomiary intensywności osiadania pyłu umieszczano każdorazowo w tej samej odległości od źródła zapylenia. Na rysunku 9.12 pokazano przykładowe zestawienie wyników pomiarów intensywności osiadania pyłu w chodniku wentylacyjnym (nadścianowym) ściany II [63], w którym przedstawiono zmiany intensywności osiadania pyłu w poszczególnych częściach przekrojów wyrobiska na całej długości strefy zabezpieczającej (rys. 9.12a) oraz rozkład zapylenia w poszczególnych przekrojach w strefie zabezpieczającej (rys. 9.12b). Pomiary stężenia pyłu w powietrzu, w każdej ze stref zabezpieczających wykonywano w miejscach, w których istniała możliwość podłączenia pyłomierzy do zasilania oraz do urządzenia rejestrującego i transmitującego dane na powierzchnię.



Rys. 9.12. Intensywność osiadania pyłu w chodniku wentylacyjnym ściany II:
a) w poszczególnych częściach przekrojów chodnika na długości strefy zabezpieczającej b) w poszczególnych przekrojach chodnika w strefie zabezpieczającej [62]

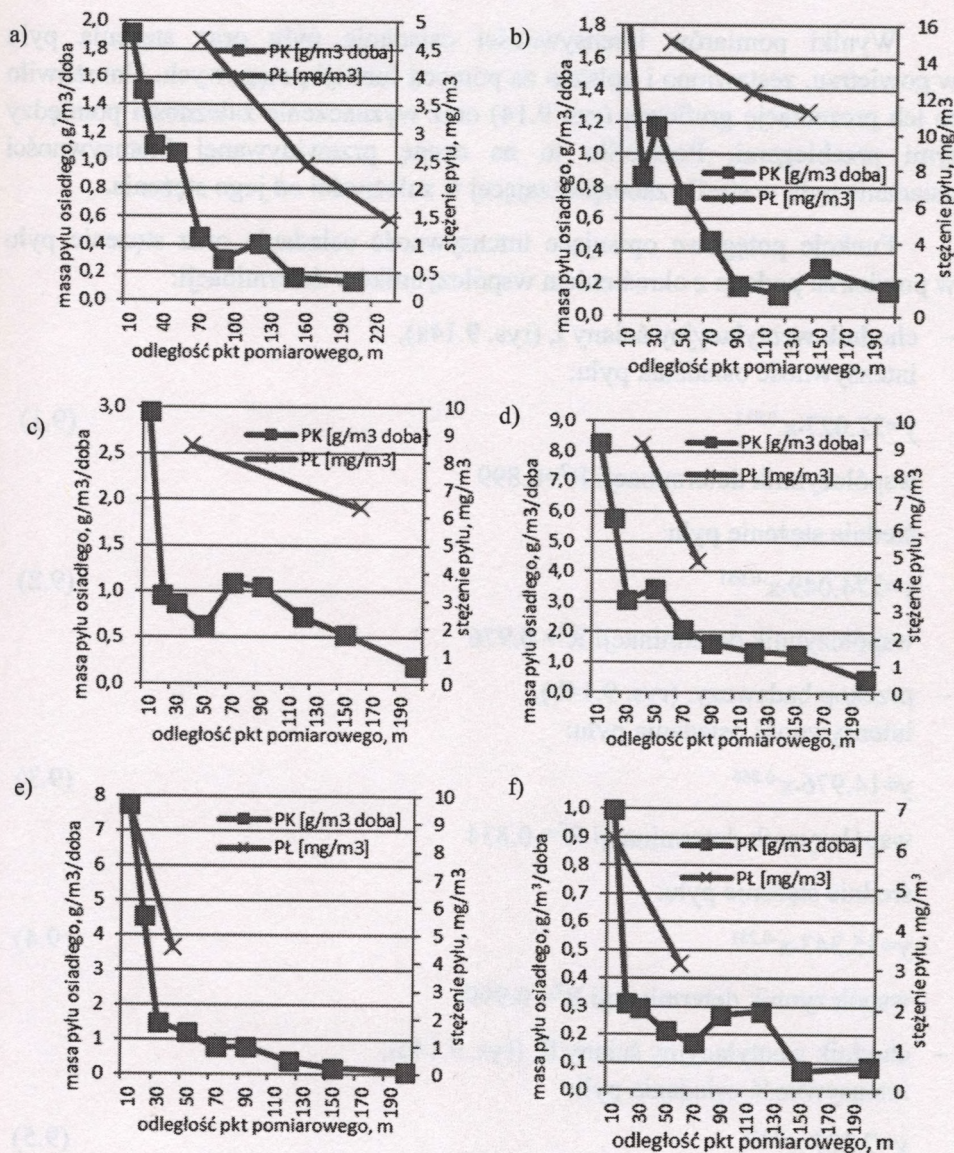
W wyrobiskach transportowych (podścianowych) ściany I i ściany II, pomiary intensywności osiadania pyłu wykonywane były w strefie

zabezpieczającej a pomiary pyłomierzami optycznymi poza strefą w jej znacznym oddaleniu (z powodu dostępności centralki SMP-NT), w związku z tym w tych przypadkach odstąpiono od dalszej analizy. We wszystkich pozostałych chodnikach, wyniki pomiarów z pyłomierzy PŁ-2 porównywano z pyłem osiadłym na płytkach HDF zamocowanych w górnej części wyrobisk, na wysokości porównywalnej z wysokością zamocowania pyłomierzy.

We wszystkich sześciu analizowanych chodnikach, w górnych częściach ich przekrojów (płytki HDF nr 1, 2, 8, 9), następował spadek intensywności osiadania pyłu z równoczesnym spadkiem jego stężenia (pyłomierze PŁ-2) wraz z oddalaniem się od źródła powstawania pyłu (rys. 9.13).

Zestawione na wykresach (rys. 9.13) wyniki uwidaczniają bardzo podobną ilość osiadłego na płytkach HDF pyłu w pobliżu źródła jego powstawania, w ilości od 1,0 do 3,0 mg/m³/dobę w wyrobiskach: chodniku wentylacyjnym ściany I (rys. 9.13a), przekopie badawczym z przodkiem kamiennym (rys. 9.13b), chodniku wentylacyjnym ściany II (rys. 9.13c) oraz chodniku transportowym południowym (rys. 9.13f). W pochylni badawczej z przodkiem węglowym oraz w chodniku transportowym północnym, w pobliżu źródła powstania pyłu, zmierzono intensywność osiadania około 8 mg/m³/dobę. Jeżeli chodzi o średnie stężenie pyłu w pobliżu źródła jego powstania, to najmniejsze stężenie, które wynosiło 4,5 mg/m³, zmierzono w chodniku wentylacyjnym ściany I (rys. 9.13a) a największe, wynoszące około 15,5 mg/m³ zmierzono w przekopie badawczym z przodkiem kamiennym (rys. 9.13b). W pozostałych chodnikach (rys. 9.13c do 9.13f), średnie stężenie pyłu wynosiło od 6,5 do 9,5 mg/m³.

W porównywanych wynikach (rys. 9.13) rozpoczęto poszukiwania stałych zależności pomiędzy intensywnością osiadania pyłu a średnim stężeniem pyłu w powietrzu, celem zobrazowania procesów związanych z przemieszczaniem się pyłu w wyrobisku, w granicach strefy zabezpieczającej przed wybuchem pyłu węglowego. Wpływ zmiany przekrojów poprzecznych występujący w poszczególnych częściach chodników (urządzenia, poszerzenia i wnęki techniczne lub przewężenia spowodowane działaniem ciśnienia górotworu i wpływami eksploatacyjnymi) na wielkość zapylenia uwzględniono poprzez odniesienie intensywności osiadania pyłu oraz stężenia pyłu do objętości powietrza w chodniku.



Rys. 9.13. Wyniki pomiarów zapylenia wykonanych pyłomierzem optycznym oraz pomiarów osiadania wykonanych za pomocą płytek pomiarowych w strefie zabezpieczającej: a) chodnik wentylacyjny ściany I, b) przekop badawczy z przodkiem kamiennym, c) chodnik wentylacyjny ściany II, d) pochylania badawcza z przodkiem węglowym, e) chodnik transportowy północny, f) chodnik transportowy południowy [63]

Wyniki pomiarów intensywności osiadania pyłu oraz stężenia pyłu w powietrzu, zestawiono i opisano za pomocą funkcji potęgowych. Umożliwiło to ich prezentację graficzną (rys. 9.14) oraz wyznaczenie zależności pomiędzy tymi przebiegami. Pozwoliło to na ocenę przewidywanej intensywności osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej w zależności od jego stężenia.

Funkcje potęgowe opisujące intensywność osiadania oraz stężenie pyłu w powietrzu podano z określeniem współczynników determinacji:

- chodnik wentylacyjny ściany I, (rys. 9.14a),
intensywność osiadania pyłu:

$$y=22.027 \cdot x^{-0.911} \quad (9.1)$$

współczynnik determinacji $R^2=0.899$

średnie stężenie pyłu:

$$y=274.049 \cdot x^{-0.951} \quad (9.2)$$

współczynnik determinacji $R^2=0.976$

- przekop badawczy, (rys. 9.14b),
intensywność osiadania pyłu:

$$y=14.976 \cdot x^{-0.866} \quad (9.3)$$

współczynnik determinacji $R^2=0.834$

średnie stężenie pyłu:

$$y=35.343 \cdot x^{-0.231} \quad (9.4)$$

współczynnik determinacji $R^2=0.999$

- chodnik wentylacyjny ściany II, (rys. 9.14c),
intensywność osiadania pyłu:

$$y=7.287 \cdot x^{-0.552} \quad (9.5)$$

współczynnik determinacji $R^2=0.820$

średnie stężenie pyłu:

$$y=19.208 \cdot x^{-0.218} \quad (9.6)$$

współczynnik determinacji $R^2=1$

- pochylnia badawcza, (rys. 9.14d),
intensywność osiadania pyłu:

$$y=10.570 \cdot x^{-0.389} \quad (9.7)$$

współczynnik determinacji $R^2= 0.578$

średnie stężenie pyłu:

$$y=271.876 \cdot x^{-0.920} \quad (9.8)$$

współczynnik determinacji $R^2= 1$

- chodnik transportowy północny, (rys. 9.14e),
intensywność osiadania pyłu:

$$y=14.480 \cdot x^{-0.831} \quad (9.9)$$

współczynnik determinacji $R^2= 0.957$

średnie stężenie pyłu:

$$y=505.091 \cdot x^{-1.074} \quad (9.10)$$

współczynnik determinacji $R^2= 1$

- chodnik transportowy południowy, (rys. 9.14f).
intensywność osiadania pyłu:

$$y=3.336 \cdot x^{-0.665} \quad (9.11)$$

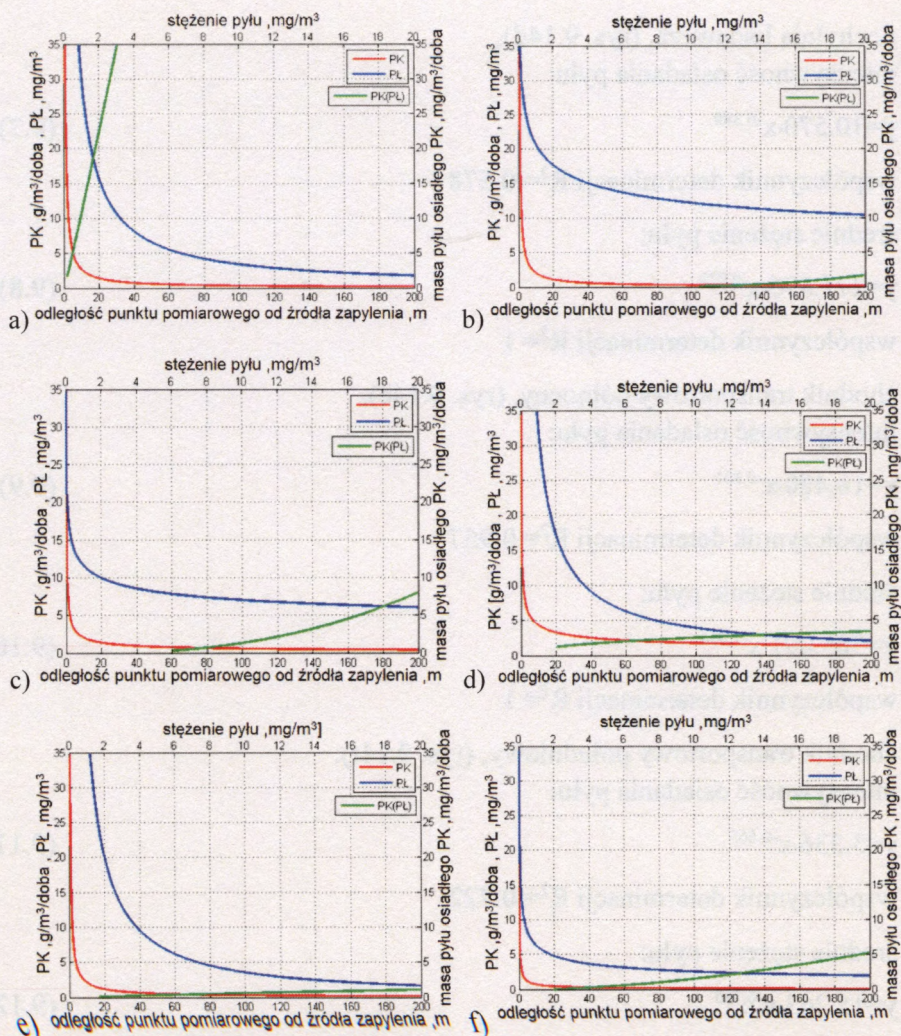
współczynnik determinacji $R^2= 0.722$

średnie stężenie pyłu:

$$y=15.263 \cdot x^{-0.385} \quad (9.12)$$

współczynnik determinacji $R^2= 1$

Współczynniki determinacji R^2 w przypadku większości funkcji potęgowych opisujących intensywność osiadania pyłu oraz stężenia pyłu były większe od 0,8, co świadczy o dobrym dopasowaniu modelu. Jedynie w przypadkach: pochylni badawczej 0,578 oraz chodnika transportowego południowego nie osiągnęły wartości 0,8.



Rys. 9.14. Ekstrapolowane wyniki pomiarów stężenia pyłu i aproksymowane wyniki pomiarów osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej oraz funkcja ich wzajemnej zależności: a) chodnik wentylacyjny ściany I, b) przekop badawczy, c) chodnik wentylacyjny ściany II, d) pochylnia badawcza, e) chodnik transportowy północny, f) chodnik transportowy południowy gdzie: PK - pył całkowity osiadły (kamienny+węglowy), PL - pył całkowity (kamienny+węglowy) zmierzony pyłomierzem optycznym [63]

Charakterystyki zastępcze opisujące wielkość osiadania pyłu w zależności od jego stężenia w powietrzu w analizowanych sześciu wyrobiskach mają również postać funkcji potęgowych (rys. 9.15):

a) chodnik wentylacyjny ściany I:

$$y = 0.102 \cdot x^{0.958} \quad (9.13)$$

b) przekop badawczy:

$$y = 17.192 \cdot x^{0.266} \quad (9.14)$$

c) chodnik wentylacyjny ściany II:

$$y = 8.774 \cdot x^{0.394} \quad (9.15)$$

d) pochylnia badawcza:

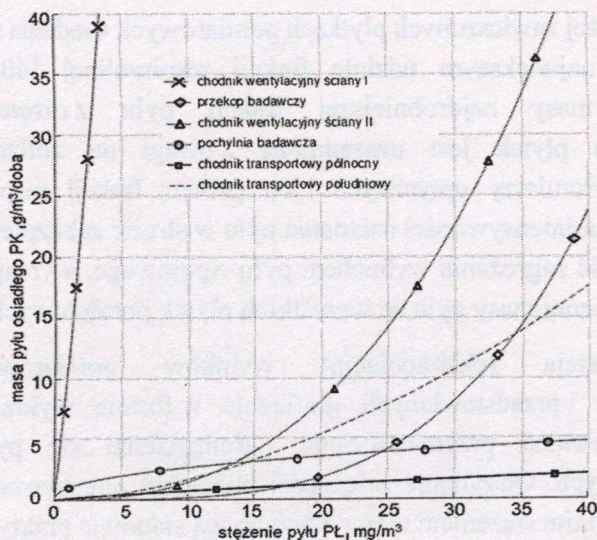
$$y = 1.033 \cdot x^{2.363} \quad (9.16)$$

e) chodnik transportowy północny:

$$y = 15.942 \cdot x^{1.293} \quad (9.17)$$

f) chodnik transportowy południowy:

$$y = 7.591 \cdot x^{0.580} \quad (9.18)$$



Rys. 9.15. Charakterystyki zastępcze osiadania pyłu w zależności od stężenia pyłu w powietrzu w analizowanych wyrobiskach [63]

Przyjęcie do opisu tylko jednego typu funkcji pozwoliło na odwzorowanie wszystkich zależności w ten sam sposób i porównanie ich w odniesieniu do różnych wyrobisk. Zestawione charakterystyki zastępcze (rys. 9.15) przedstawiające zależności intensywności osiadania pyłu od jego średniego stężenia w powietrzu w strefie zabezpieczającej przed wybuchem pyłu węglowego prezentują trzy grupy: silnie odchylające się w kierunku osi poziomej, silnie odchylające się w kierunku osi pionowej oraz krzywoliniowe, odchylające się od osi poziomej ku górze. Do pierwszej grupy należą: pochylnia badawcza i chodnik transportowy północny, do drugiej: chodnik wentylacyjny ściany I, a do trzeciej: przekop badawczy, chodnik wentylacyjny ściany II i chodnik transportowy południowy. Na różnicę w przebiegu poszczególnych charakterystyk może wpływać wiele dodatkowych czynników nieuwzględnionych w badaniach, do których między innymi należeć mogą: wpływ obudowy chodnikowej na opory przepływu powietrza, wzmożone zapylenie spowodowane ruchem załogi lub nieprzewidzianym prowadzeniem robót w strefie zabezpieczającej, a także zaburzenia cyklu produkcyjnego.

Na najwyżżej zawieszonych płytkach pomiarowych osadzała się najmniejsza masa pyłu o największym udziale frakcji respirabilnej [40]. Odnoszenie sumarycznej masy najdrobniejszej frakcji pyłu z czterech, najwyżżej umieszczonych płytek jest uzasadnione z uwagi na zbliżoną wysokość mocowania pyłomierzy optycznych i ich pomiar frakcji respirabilnej pyłu. Właściwa ocena intensywności osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej, a tym samym wielkość zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, wymaga wzięcia pod uwagę sumarycznej masy pyłu ze wszystkich płytek pomiarowych.

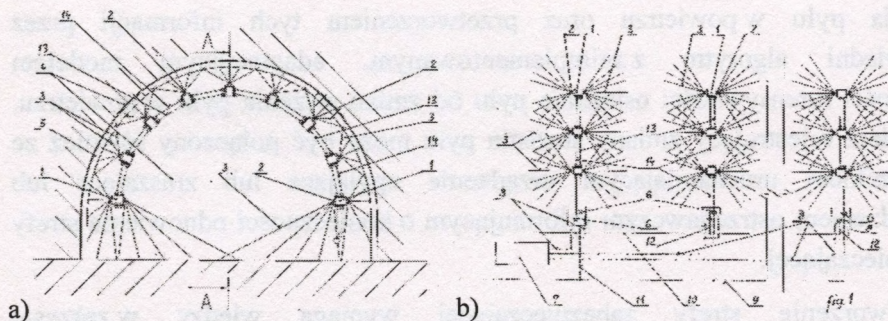
Aproksymacja (ekstrapolacja) wyników pomiarów, opisanych matematycznie i przedstawionych graficznie w formie wykresów, obrazuje przybliżony rozkład przemieszczania i gromadzenia się pyłu w strefach zabezpieczających. Otrzymane zależności pomiędzy intensywnością osiadania pyłu a jego średnim stężeniem w powietrzu mogą stanowić praktyczne narzędzie do oceny wielkości zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. Może też służyć do optymalizacji działań profilaktycznych w aspekcie częstotliwości odnawiania stref zabezpieczających oraz ilości zastosowanego materiału do ich odnawiania. Uwarunkowane to będzie jednak pomiarem i rejestracją danych o zmianach

stężenia pyłu w powietrzu oraz przetworzeniem tych informacji przez odpowiedni algorytm z zaimplementowanym, adaptacyjnym modelem zależności intensywności osiadania pyłu od zmian stężenia pyłu w powietrzu. Pyłomierz rejestrujący zmiany stężenia pyłu może być połączony również ze sterownikiem uruchamiającym urządzenie opylające lub zraszające lub z urządzeniem ostrzegawczym informującym o konieczności odnowienia strefy zabezpieczającej.

Tworzenie strefy zabezpieczającej wymaga wiedzy w zakresie intensywności osiadania pyłu na całej jej długości. Przekroczenie określonego poziomu nagromadzenia pyłu powinno skutkować jego neutralizacją, celem uzyskania odpowiedniego, gwarantowanego poziomu bezpieczeństwa pracy, gdzie uzyskane zależności mogą wspomóc ten proces i być podstawą do określenia kryteriów tworzenia strefy zabezpieczającej oraz narzędzi w kreowaniu bezpieczeństwa pracy.

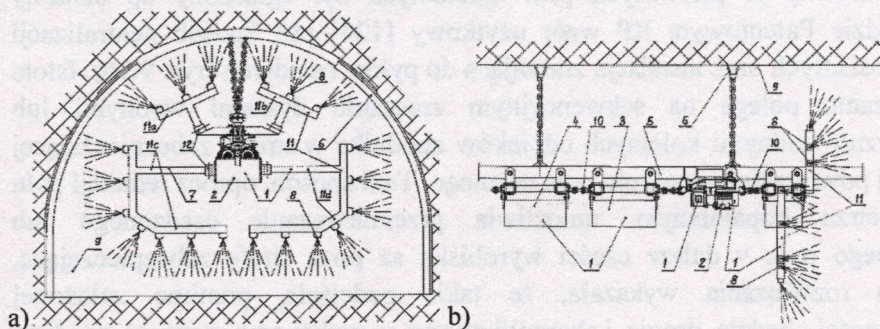
Przeprowadzone badania zapylenia i gromadzenia się wybuchowego pyłu węglowego w strefie zabezpieczającej oraz zamodelowanie tego procesu poprzez wyznaczenie zależności pomiędzy średnim stężeniem pyłu w powietrzu kopalnianym a intensywnością osiadania pyłu w chodniku umożliwiło podjęcie prac projektowych i badawczych nad opracowaniem automatycznej strefy zabezpieczającej przed wybuchem pyłu węglowego.

Podstawą do pierwszych prac studialnych był zgłoszony do ochrony w Urzędzie Patentowym RP wzór użytkowy [124] pt.: Sposób neutralizacji pyłów osiadłych oraz instalacja zraszająca do pyłów osiadłych (rys. 9.16). Istota rozwiązania polega na sekwencyjnym zraszaniu dyszami wodnymi lub powietrzno-wodnymi kolejnych odcinków chodnika w strefie zabezpieczającej na całej powierzchni przekroju poprzecznego. Taki sposób, oprócz redukcji pyłu w powietrzu kopalnianym, umożliwia przemieszczanie osadzonego lub zroszonego pyłu w dalsze części wyrobiska aż poza strefę zabezpieczającą. Analiza rozwiązania wykazała, że takie podejście, pomimo założonej skuteczności, będzie drogie i skomplikowane w wykonaniu z uwagi na dużą liczbę komponentów i przewodów hydraulicznych i pneumatycznych. Przemieszczanie a raczej przepinanie takiej instalacji wraz z postępowaniem ściany lub chodnika wymagałoby dużego zaangażowania załogi.



Rys. 9.16. Instalacja zraszająca do neutralizacji pyłów osiadłych według zgłoszonego wzoru użytkowego W125 935 [124]: a) widok z przodu, b) widok z boku

Choć idea zastosowania małej ilości wody skutecznie rozpylanej za pomocą sprężonego powietrza wydawała się słuszna, to musiało zostać zmienione podejście w zakresie samego urządzenia zraszającego. W dalszych rozważaniach przyjęto, że instalacja powinna być mobilna, wymagająca małego zaangażowania obsługi a zasięg dysz zraszających powinien zagwarantować utrzymanie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa strefy zraszającej. Według autorów, zaproponowane rozwiązanie ma innowacyjny charakter, w związku z czym zostało zgłoszone do urzędu patentowego RP jako zgłoszenie patentowe nr 410860 pt.: Sposób neutralizacji pyłów osiadłych i instalacja do neutralizacji pyłów osiadłych (rys. 9.17) [125].

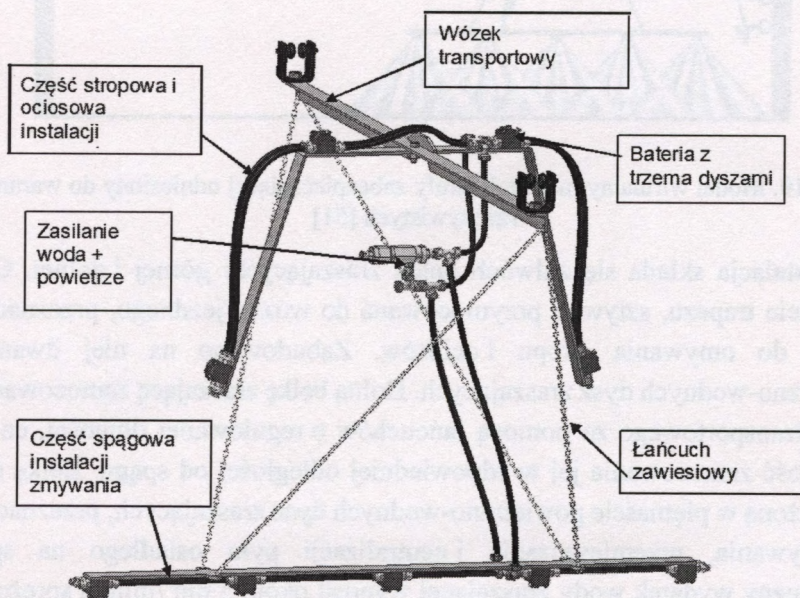


Rys. 9.17. Instalacja do neutralizacji pyłów osiadłych według zgłoszenia wynalazczego nr P.410860 [125]: a) widok z przodu, b) widok z boku

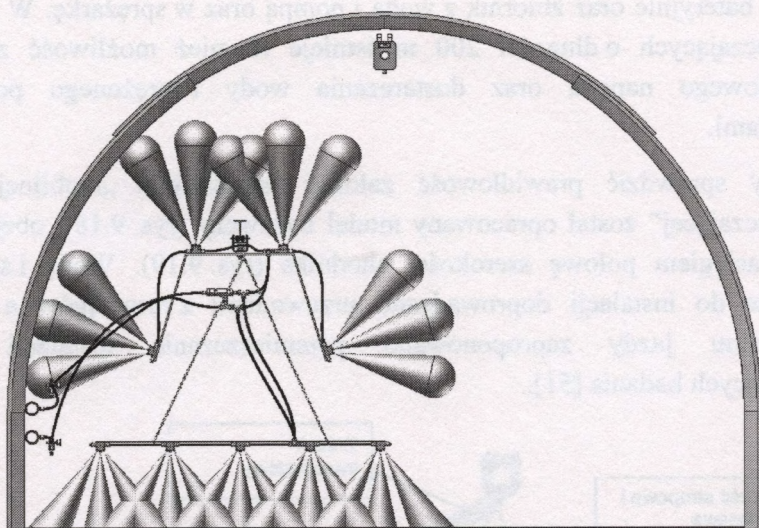
Instalację przewidziano do cyklicznego omywania wodą rozpyloną sprężonym powietrzem. Z założenia powinna być wyposażona we własny napęd

zasilany bateryjnie oraz zbiornik z wodą i pompą oraz w sprężarkę. W strefach zabezpieczających o długości 200 m istnieje również możliwość zasilania przewodowego napędu oraz dostarczania wody i sprężonego powietrza przewodami.

Aby sprawdzić prawidłowość założeń rozwiązania „mobilnej strefy zabezpieczającej” został opracowany model badawczy (rys. 9.18), obejmujący swym zasięgiem połowę szerokości chodnika (rys. 9.19). Wodę i sprężone powietrze do instalacji doprowadzano przewodami z rurociągów a zamiast mechanizmu jazdy zaproponowano przemieszczanie instalacji przez prowadzących badania [51].



Rys. 9.18. Model powietrzno-wodnej instalacji zraszającej zastosowanej w badaniach dołowych [51]



Rys. 9.19. Model wirtualny instalacji strefy zabezpieczającej odniesiony do warunków rzeczywistych [51]

Instalacja składa się z dwóch belek zraszających: górnej i dolnej. Górna o kształcie trapezu, sztywno przymocowana do wózka jezdnego, przeznaczona została do omywania stropu i ociosów. Zabudowano na niej dwanaście powietrzno-wodnych dysz zraszających. Dolną belkę zraszającą zamocowano do wózka transportowego za pomocą łańcuchów o regulowanej długości, co dało możliwość zamocowania jej w odpowiedniej odległości od spągu. Belkę dolną wyposażoną w piętnaście powietrzno-wodnych dysz zraszających, przeznaczono do zmywania, przemieszczania i neutralizacji pyłu osiadłego na spągu. Sumaryczny wydatek wody zraszającej wynosił około $5 \text{ dm}^3/\text{min}$, a sprężonego powietrza około $0,45 \text{ m}^3/\text{min}$. Odległość zamocowania belki od spągu uzależniono od ilości osiadłego pyłu oraz parametrów mediów generujących strumień zmywający. Obie belki zasilane są w wodę i sprężone powietrze z rurociągów.

Badania prowadzono w nadścianowym chodniku wentylacyjnym. Instalacja została zamontowana na szynie podwieszanej po stronie lewego ociosu, na wysokości około 2,0 m nad spągiem chodnika (rys. 9.20). Dolna belka została umieszczona tak, aby zachować odległość dysz zraszających od spągu $5\div 20 \text{ cm}$.

Instalacja była przemieszczana z prędkością około 1 m/min na odcinku 20 m. Instalacja zraszająca była uruchamiana wyłącznie przy przemieszczaniu w kierunku zgodnym z kierunkiem przewietrzania. Ciśnienie wody i sprężonego powietrza wynosiło 0,3 MPa. W spągu, na całej długości odcinka pomiarowego nabitó kotwy pomiarowe, do zobrazowania grubości warstwy pyłu przemieszczonej przez strumienie zraszające. W procesie badawczym przewidziano 20 przejazdów instalacją zraszającą przez odcinek pomiarowy, przy czym co pięć przejazdów dokonywano pomiarów wielkości odsłonięcia kotew pomiarowych oraz ilości pyłu pozostającego na ociosach i spągu chodnika. Niezależnie, w sposób ciągły mierzono stężenie pyłu w chodniku z użyciem analizatora IPSQ oraz spektrometry cząstek SMPS i APS.



Rys. 9.20. Instalacja zraszająca podczas prób obmywania - widok z boku [51]

Przemieszczanie instalacji zraszającej pozwoliło każdorazowo zaobserwować efekt przemieszczania pyłu zalegającego na spągu w dalsze części chodnika (rys. 9.21). Po ustalonych, kolejnych przemieszczeniach instalacji zraszającej dokonywano pomiarów wielkości odsłonięcia kotew pomiarowych.

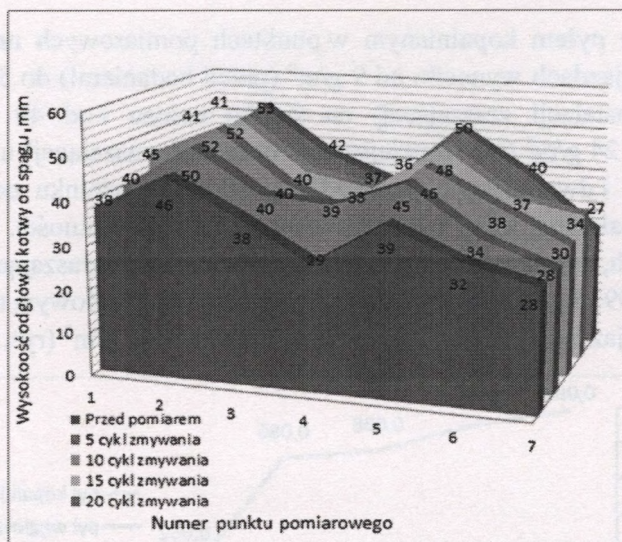


Rys. 9.21. Instalacja i strumień aerozolu powietrzno-wodnego podczas prób zmywania osiadłego pyłu [51]

Pomiary wielkości odsłonięcia kotew pomiarowych uwidoczniły, że po dwudziestym przejeździe wielkość odsłonięcia kotwy pomiarowej wynosiła maksymalnie 11 mm (rys. 9.22). Wyniki badań pokazały, że taki sposób pomiaru efektów zastosowania instalacji zraszającej do przemieszczania pyłu nie jest właściwy. Model instalacji zraszającej został zastosowany w warunkach, gdzie sytuacja zapylenia była stanem zastanym. Badany odcinek spągu miał w wielu miejscach twardą i ubitą strukturę, którą było trudno rozmiękczyć i przemieścić. Cykliczne przemieszczanie instalacji zraszającej powodowało przesuwanie pyłu wzdłuż badanego odcinka, gdzie następowało przykrywanie kotew.

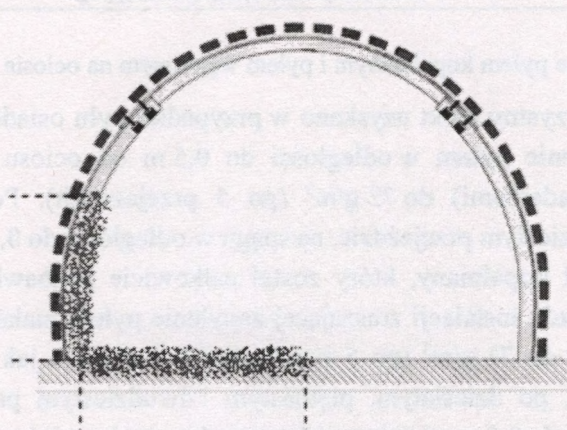
Niektóre z kotew znajdowały się poza osią strumienia zraszającego a inne w jego głównym zasięgu działania. Jednak cykliczne stosowanie instalacji przez cały czas istnienia strefy zabezpieczającej doprowadziłoby do zmiękczenia spągu i przemieszczenia pyłów zalegających oraz osiadłych w dalsze części wyrobiska.

Zupełnie inny efekt zmywania i przemieszczania pyłu został zmierzony przez pobieranie prób pyłu osiadłego poza strefą zraszającą. Pomiary te zostały realizowane przez specjalistów z KD Barbara [51] i wykazały znacznie lepszy efekt pomiarowy.



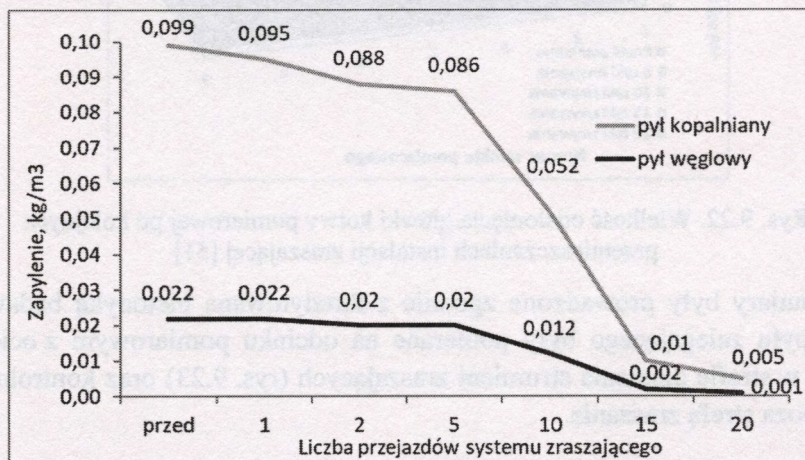
Rys. 9.22. Wielkość odsłonięcia główki kotwy pomiarowej po kolejnych przemieszczaniach instalacji zraszającej [51]

Pomiary były prowadzone zgodnie z akredytowaną metodyką badawczą. Próby pyłu zalegającego były pobierane na odcinku pomiarowym z ociosów i spągu w strefie działania strumieni zraszających (rys. 9.23) oraz kontrolnie ze spągu poza strefą zraszania.



Rys. 9.23. Miejsce pobierania prób zalegającego pyłu kopalnianego w trakcie badań systemu zraszającego [40]

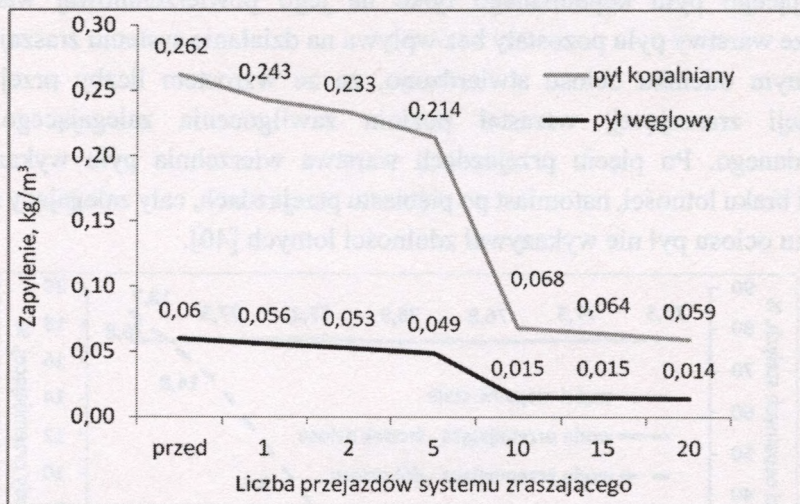
Zapylenie pyłem kopalnianym w punktach pomiarowych na ociosie, po kolejnych przejazdach wynosiło od 9 g/m^3 (przed badaniami) do 5 g/m^3 (po 20 przejazdach instalacji zraszającej) na środku ociosu i od 49 g/m^3 (przed badaniami) do 24 g/m^3 (po 10 przejazdach instalacji zraszającej) u dołu ociosu. Po piętnastym i dwudziestym przejeździe, w dolnym odcinku ociosu zalegał mokry pył kopalniany, który był całkowicie pozbawiony lotności. Sumarycznie w obu punktach, w miarę kolejnych przejazdów instalacji zraszającej, zapylenie pyłem malało $99 \div 5 \text{ g/m}^3$. Sumaryczne zapylenie pyłem węglowym na ociosie, po kolejnych przejazdach instalacji zraszającej malało $22 \div 1 \text{ g/m}^3$ (rys. 9.24).



Rys. 9.24. Zapylenie pyłem kopalnianym i pyłem węglowym na ociosie chodnika [40]

Podobny, korzystny efekt uzyskano w przypadku pyłu osiadłego na spągu (rys. 9.25). Zapylenie pyłem w odległości do $0,5 \text{ m}$ od ociosu wynosiło od 87 g/m^3 (przed badaniami) do 72 g/m^3 (po 5 przejazdach). Po dziesiątym, piętnastym i dwudziestym przejeździe, na spągu w odległości do $0,5 \text{ m}$ od ociosu zalegał mokry pył kopalniany, który został całkowicie pozbawiony lotności. W osi trasy przejazdu instalacji zraszającej zapylenie pyłem malało od 87 g/m^3 (przed badaniami) do 71 g/m^3 (po 5 przejazdach). Podobnie jak w przypadku pyłu przy ociosie, po dziesiątym, piętnastym i dwudziestym przejeździe, na spągu w odległości do $0,5 \text{ m}$ od ociosu zalegał mokry pył kopalniany, który został całkowicie pozbawiony lotności. Zapylenie pyłem na odcinku poza trasą przejazdu instalacji zraszającej malało od 87 g/m^3 (przed badaniami) do 59 g/m^3

(po 20 przejazdach). Sumarycznie, w badanym odcinku spągu, zapylenie wynosiło od 262 g/m^3 (przed badaniami) do 59 g/m^3 (po 20 przejazdach). Sumaryczne zapylenie pyłem węglowym na spągu po kolejnych przejazdach wynosiło od 60 g/m^3 (przed badaniami) do 14 g/m^3 (po 20 przejazdach) [40].



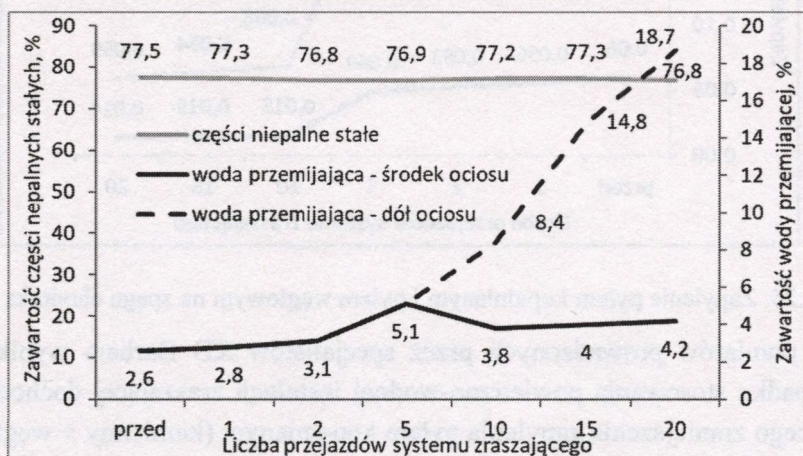
Rys. 9.25. Zapylenie pyłem kopalnianym i pyłem węglowym na spągu chodnika [40]

Z pomiarów prowadzonych przez specjalistów KD Barbara wynika, że w przypadku stosowania powietrzno-wodnej instalacji zraszającej dochodzi do znaczącego zmniejszenia zapylenia pyłem kopalnianym (kamienny + węglowy) i węglowym, a po dziesięciu przejazdach instalacji zraszającej pył zostaje całkowicie pozbawiony lotności.

Zastosowanie modelu „mobilnej strefy zabezpieczającej” przyniosło również pozytywne rezultaty w zakresie wody higroskopijnej i przemijającej w zalegającym pyłe kopalnianym. Zawartość wody higroskopijnej (rys. 9.26) w zalegającym pyłe kopalnianym w środkowej części ociosu wynosiła od 1,2% (po 2, 5 i 15 przejazdach instalacji zraszającej) do 1,3% (przed badaniami oraz po 1, 10 i 20 przejazdach instalacji zraszającej) a w dolnej części ociosu wynosiła od 1,2% (po 2, 5, 10 i 20 przejazdach) do 1,3% (przed badaniami oraz po 1 i 15 przejazdach). Zawartość wody przemijającej (rys. 9.26) w zalegającym pyłe kopalnianym w środkowej części ociosu wzrastała od 2,6% (przed badaniami) do

5,1% (po 5 przejazdach) a w dolnej części ociosu wzrastała od 2,6% (przed badaniami) do 18,7% (po 20 przejazdach).

W środkowym odcinku ociosu stwierdzono niewielki wzrost zawilgocenia zalegającego pyłu kopalnianego tylko na jego powierzchniowej warstwie. Głębsze warstwy pyłu pozostały bez wpływu na działanie systemu zraszającego. W dolnym odcinku ociosu stwierdzono, że ze wzrostem liczby przejazdów instalacji zraszającej, wzrastał poziom zawilgocenia zalegającego pyłu kopalnianego. Po pięciu przejazdach warstwa wierzchnia pyłu wykazywała oznaki braku lotności, natomiast po piętnastu przejazdach, cały zalegający na tym odcinku ociosu pył nie wykazywał zdolności lotnych [40].



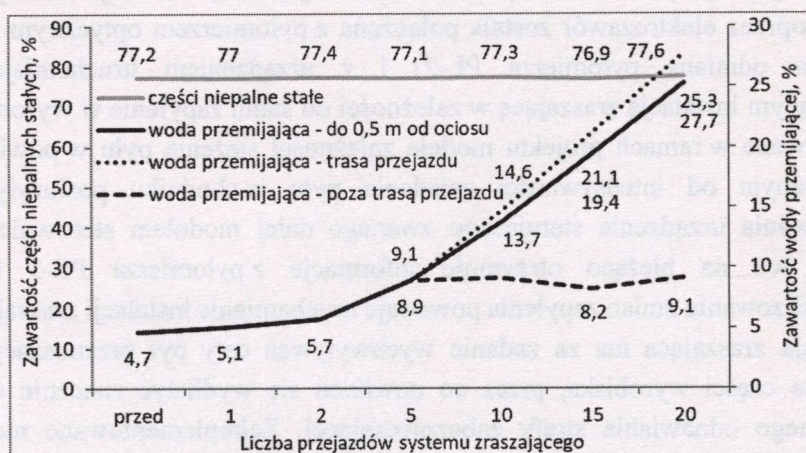
Rys. 9.26. Zawartość części niepalnych stałych oraz wody przemijającej w zalegającym pyłach kopalnianych na ociosie chodnika [40]

Podobny efekt uzyskano w przypadku pomiaru zawartości wody higroskopijnej w zalegającym pyłach kopalnianych na spągu odcinka pomiarowego (rys. 9.27).

Zawartość wody higroskopijnej w zalegającym pyłach kopalnianych na spągu w odległości do 0,5 m od ociosu wynosiła od 1,8% (przed badaniami oraz po 2, 5, 10 i 20 przejazdach) do 1,9% (po 1 i 15 przejazdach) a w osi trasy przejazdu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej wynosiła od 1,8% (przed badaniami oraz po 2, 5, 15 i 20 przejazdach) do 1,9% (po 1 i 10 przejazdach). Na spągu

z boku strefy zraszania instalacją zraszającą wynosiła od 1,7% (po 15 przejazdach) do 1,9% (po 2 i 20 przejazdach).

Zawartość wody przemijającej w zalegającym pyłe kopalnianym w odległości do 0,5 m od ociosu chodnika malała od 4,7% (przed badaniami) do 25,3% (po 20 przejazdach) a na spągu w osi strefy zraszania wynosiła od 4,7% (przed badaniami) do 27,7% (po 20 przejazdach). Na odcinku poza trasą przejazdu instalacji zraszającej malała od 4,7% (przed badaniami) do 9,1% (po 5 i 20 przejazdach) [40].



Rys. 9.27. Zawartość części niepalnych stałych oraz wody przemijającej w zalegającym pyłe kopalnianym na spągu chodnika [40]

Przedstawione pomiary wykazały, że zastosowanie doświadczonego modelu „mobilnej strefy zabezpieczającej” pozwoliło pozbawić całkowicie lotności zalegający pył kopalniany już po dziesiątym przejeździe. Podczas przemieszczania instalacji zraszającej po 20 metrowym odcinku badawczym zużywano około 10 dm³/min wody na każdy przejazd, co sumarycznie, podczas dwudziestu przejazdów dało około 400 dm³/min wody. W tym czasie zwiększono zawartość wody przemijającej w dolnej części ociosu z 5% do 18% a na spągu z 5% do 25% [40].

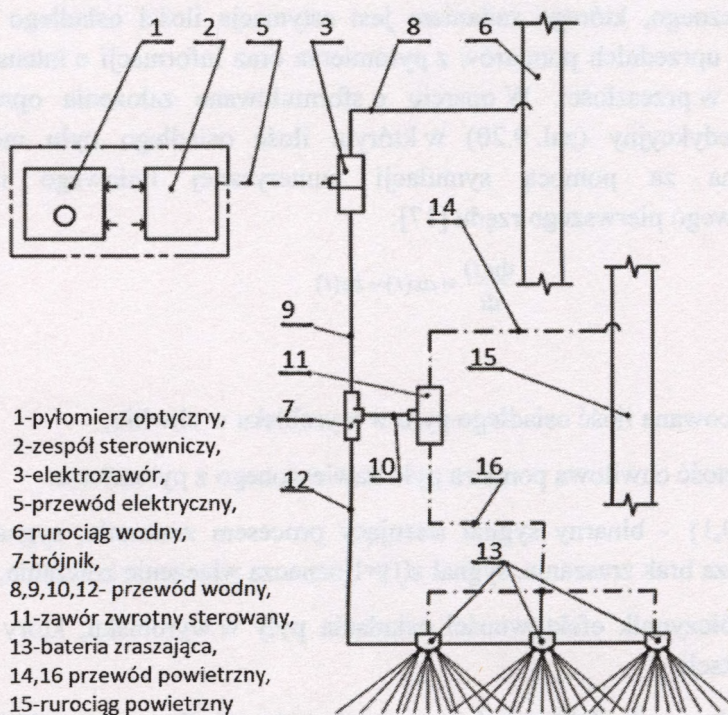
Zaprojektowany, wykonany i przebadany model „mobilnej strefy zraszającej” był pozbawiony niektórych cech użytkowego urządzenia, przede

wszystkim napędu jazdy a także zbiornika z wodą i pompą oraz sprężarki, jednak już na etapie prowadzenia doświadczeń, wykazał użytkowe cechy poprawiające stan bezpieczeństwa w strefach zabezpieczających przed wybuchem pyłu węglowego.

W ramach projektu MEZAP zastosowano również inne podejście do utrzymania strefy zabezpieczającej przed wybuchem pyłu węglowego. W wyniku analizy procesu przepływu i osadzania się wybuchowego pyłu węglowego zaproponowano zainstalowanie stacjonarnej instalacji zraszającej, która poprzez elektrozawór została połączona z pyłomierzem optycznym PŁ-3 (nowsza odmiana pyłomierza PŁ-2) i z urządzeniem uruchamiającym i sterującym instalacją zraszającą w zależności od stanu zapylenia w wyrobisku. Opracowane w ramach projektu modele zależności stężenia pyłu w powietrzu kopalnianym od intensywności osiadania pyłu w chodniku posłużyły do opracowania urządzenia sterującego zwanego dalej modułem sterowniczym. Moduł ten na bieżąco otrzymuje informacje z pyłomierza PŁ-3 i po przeanalizowaniu zmian zapylenia powoduje uruchamianie instalacji zraszającej. Instalacja zraszająca ma za zadanie wychwytywać cały pył przenoszący się w dalsze części wyrobiska, przez co powinien się wydłużyć znacznie okres ponownego odnawiania strefy zabezpieczającej. Zaimplementowane modele zależności średniego stężenia pyłu w powietrzu i intensywności osiadania pyłu oraz wartości chwilowego stężenia pyłu mierzone przez pyłomierz PŁ-3 w optymalny sposób powinny zredukować przenoszenie się pyłu w dalsze części wyrobiska przy dostarczeniu koniecznej i wystarczającej ilości wody zraszającej.

Z uwagi na innowacyjny charakter rozwiązania zgłoszono je do UP RP, jako projekt wynalazczy nr 417 098 pt.: Układ sterujący systemem kontroli zapylenia w wyrobiskach górniczych (rys. 9.28) [134]. Jedną z cech charakterystycznych zastrzeżonego rozwiązania jest to, że układ sterujący systemem kontroli zapylenia posiada urządzenie wyposażone w pyłomierz optyczny (poz. 1) i zespół sterowniczy (poz. 2), który jest połączony z elektrozaworem (poz. 3). Zespół sterowniczy działa w oparciu o model matematyczny zapewniający analizę i przetwarzanie sygnałów o wielkości zapylenia występującego w wyrobisku, otrzymywanych z pyłomierza. Służy również do wysyłania przetworzonego sygnału w postaci impulsu elektrycznego przewodem (poz. 5)

do elektrozaworu otwierającego i zamykającego przepływ czynnika zraszającego do instalacji zraszającej (poz. 13).



Rys. 9.28. Szkic układu sterującego systemem kontroli zapylenia w wyrobiskach górniczych według zgłoszenia wynalazczego nr 417 098 [134]

W ramach prac projektowych opracowano model matematyczny pozwalający na oszacowanie ilości osiadłego pyłu na podstawie informacji o ilości pyłu zawieszonego pochodzącej z pyłomierza oraz sygnale zraszania w przeszłości. Opracowano również adaptacyjny algorytm sterowania instalacją zraszającą pracującego w oparciu o model matematyczny i umożliwiający uczenie jego parametrów.

Przy tworzeniu algorytmu kierowano się założeniem, że jedyną dostępną informacją dostarczaną do modułu sterującego jest sygnał z pyłomierza optycznego o chwilowym stężeniu pyłu wyrażonym w mg/m^3 . Założono również, że nie ma możliwości zmiany intensywności zraszania, a jedynie czasu

zraszania i częstotliwości załączeń. Dlatego też jedyną możliwością oszacowania aktualnej ilości pyłu osiadłego jest wbudowanie w algorytm sterujący modelu matematycznego, którego zadaniem jest estymacja ilości osiadłego pyłu na podstawie uprzednich pomiarów z pyłomierza oraz informacji o intensywności zraszania w przeszłości. W oparciu o sformułowane założenia opracowano model predykcyjny (zal. 9.20) w którym ilość osiadłego pyłu może być oszacowana za pomocą symulacji numerycznej liniowego równania różniczkowego pierwszego rzędu [17]:

$$\frac{dy(t)}{dt} = ax(t) - bz(t) \quad (9.20)$$

w którym:

$y(t)$ - szacowana ilość osiadłego pyłu w wyrobisku w chwili t ,

$x(t)$ - wartość chwilowa pomiaru pyłu zawieszonego z pyłomierza,

$z(t) \in \{0,1\}$ - binarny sygnał sterujący procesem zraszania, sygnał $z(t)=0$ oznacza brak zraszania, sygnał $z(t)=1$ oznacza włączenie zraszania,

a - współczynnik efektywności osiadania pyłu w wyrobisku, który podlega adaptacji,

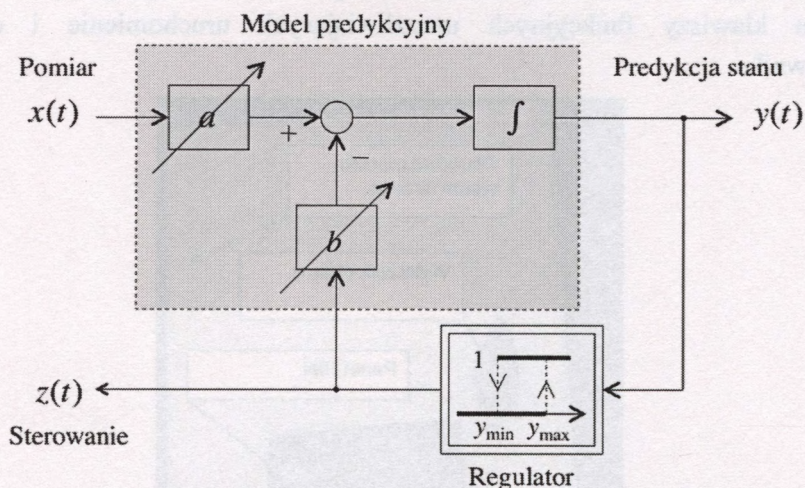
b - współczynnik efektywności zmywania pyłu osiadłego w wyrobisku, który podlega adaptacji.

Wielkości $y_{\max}$ oraz $y_{\min}$ to wielkości zadawane przez użytkownika. $Y_{\max}$ to maksymalna dopuszczalna ilość osiadłego pyłu, która nie wymaga zmywania (usuwania), $y_{\min}$ to ilość osiadłego pyłu, przy osiągnięciu której należy zakończyć zmywanie/zraszanie.

Wielkości $y_{\max}$, i $y_{\min}$ są redundantne względem parametrów a i b , i wygodnie jest przyjąć podczas praktycznej implementacji w sterowniku ich wartości unormowane: $y_{\max}=1$ oraz $y_{\min}=0$.

Założono, że układ sterowania instalacją zraszającą będzie działał w oparciu o model predykcyjny, gdzie reguły generowania sygnału $z(t)$ sprawiają, że układ sterowania staje się układem regulacji dwupołożeniowej, z tą jednak różnicą, że regulator otrzymuje informację z pyłomierza, zamiast informacji o rzeczywistej

wartości zgromadzonego pyłu węglowego, niedostępnej pomiarowo. Cały układ regulacji zawierający regulator dwupołożeniowy został przedstawiony na rysunku 9.29 [17].



Rys. 9.29. Schemat blokowy proponowanego układu sterowania instalacją zraszającą [17]

Założono, że zaproponowany algorytm sterowania umożliwi okresowe uruchamianie instalacji zraszającej. Jeśli częstotliwość tych włączeń jest wystarczająco duża wtedy pył pozostały w wyrobisku w przedziałach czasu Δt_a czyli między okresami zmywania Δt_b , ma odpowiednią wilgotność. Jednak w sytuacji, gdy sygnał z pyłomierza $x(t)$ jest mały (niski poziom pyłu zawieszonego), to częstotliwość włączeń instalacji zraszającej może nie zapewnić odpowiedniej wilgotności pozostałego pyłu. Wtedy system sterujący powinien niezależnie od sygnału $z(t)$ włączyć na pewien czas instalację zraszającą [17].

Opracowany algorytm został zaimplementowany do modułu sterowniczego realizującego sterowanie zraszaniem w strefie zabezpieczającej. Moduł sterowniczy umieszczony został w skrzyni o stopniu ochrony IP 56, wyposażonej w uchwyty umożliwiające jej mocowanie do ociosu chodnika (rys. 9.30). W dolnej części obudowy ulokowano grodziowe przyłącza dławikowe przewodu zasilającego oraz przewodów sygnałowych pyłomierza PŁ-3 i elektrozaworu. Na

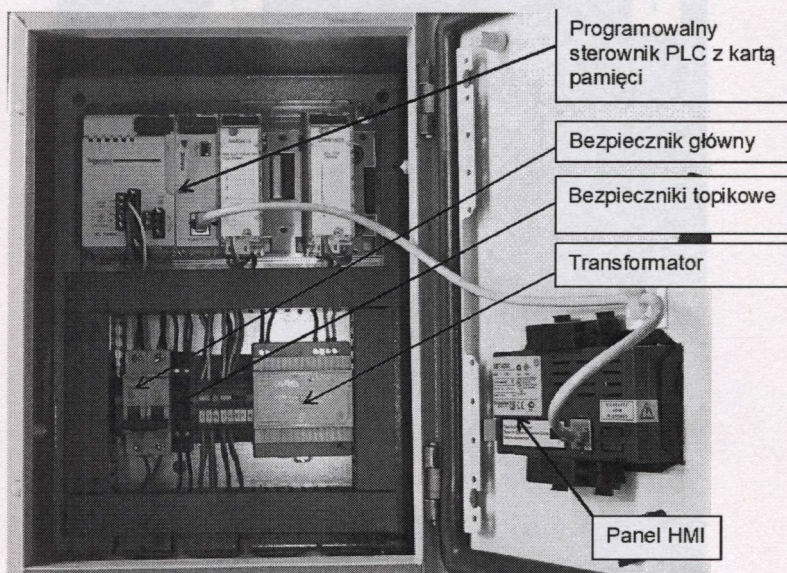
czołowej ścianie skrzyni modułu zabudowany został panel sterowania HMI z wyświetlaczem, gdzie przedstawiana jest aktualna wartość zapylenia oraz wartość wyjściowa równania osiadania. Na panelu HMI znajduje się dodatkowo osiem klawiszy funkcyjnych umożliwiających uruchomienie i obsługę sterownika.



Rys. 9.30. Skrzynia z modułem sterowniczym [51]

Wewnątrz modułu sterowniczego zabudowano układ elektroniczny zapewniający poprawne działanie urządzenia (rys. 9.31). Znamionowe napięcie zasilania wynosi 240 V, poprzez zabudowany wewnątrz transformator napięcie to obniżane jest do wartości odpowiadającej elektronicznemu układowi sterowania. Całość zabezpiecza bezpiecznik główny, którym włączane jest zasilanie całego układu elektronicznego. Dodatkowo układy pyłomierza oraz elektrozaworu zostały zabezpieczone bezpiecznikami topikowymi o wartości 125 mA. Całość układu sterowania oparta jest na programowalnym sterowniku PLC.

Pyłomierz PŁ-3 produkcji EMAG służy do ciągłego pomiaru stężenia pyłu. Wykorzystuje on zjawisko rozproszenia światła na cząstkach pyłu. Wynik pomiaru przedstawiany jest na wyświetlaczu oraz w postaci analogowego sygnału napięciowego. Pyłomierze PŁ-3 kalibrowane są do pracy w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego. Możliwa jest również ich kalibracja na inny rodzaj pyłu. Urządzenie ma dopuszczenie do pracy w strefach zagrożonych wybuchem.



Rys. 9.31. Moduł sterowniczy – instalacja wewnętrzna [51]

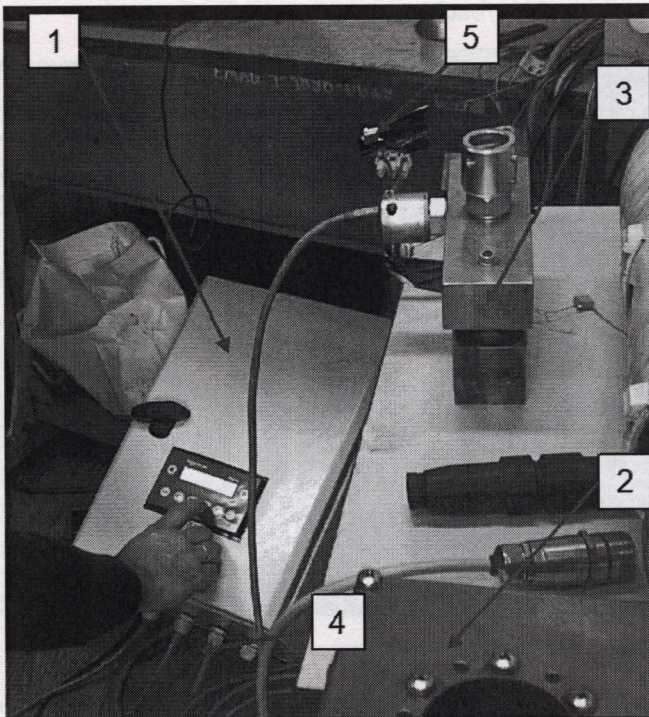
Moduł sterowniczy stanowi integralną część rzeczywistego modelu strefy zabezpieczającej przed wybuchem pyłu węglowego. Po wytworzeniu urządzenia przetestowano je w warunkach laboratoryjnych Instytutu Technik Innowacyjnych EMAG, producenta używanego w instalacji pyłomierza optycznego PŁ-3.

Stanowisko testowe prób laboratoryjnych pokazano na rysunku 9.32. W skład stanowiska wchodziły elementy:

1. Moduł sterowniczy.
2. Pyłomierz optyczny PŁ-3.

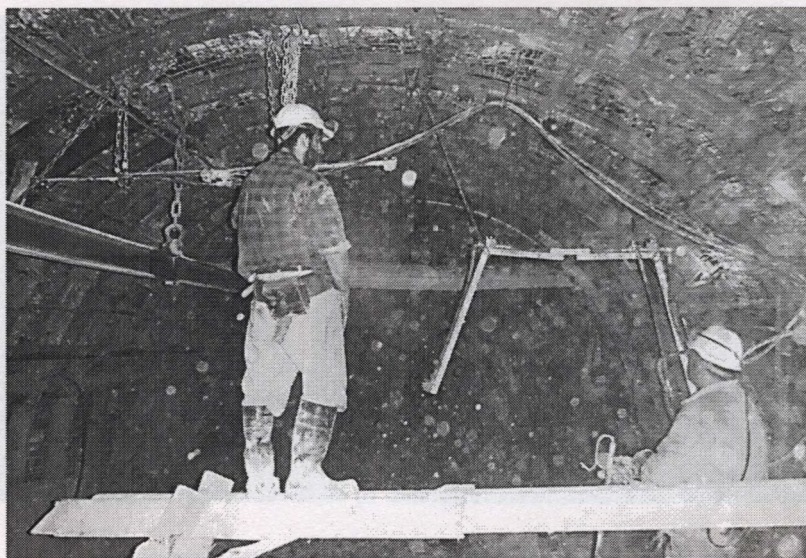
3. Zawór sterownia wstępnego MARCO.
4. Przewody podłączeniowe.
5. Dioda sygnalizacyjna.

Moduł sterowniczy sprawdzono we wszystkich jego trybach pracy zgodnie z instrukcją urządzenia.



Rys. 9.32. Stanowisko badawcze instalacji modułu sterowniczego [51]

Po testach stanowiskowych modułu sterującego rozpoczęto badania modelu stacjonarnej instalacji zraszającej wyposażonej w pyłomierz i moduł sterujący. Badania przeprowadzono w pochylni badawczej I (wentylacyjnej) czynnej ściany wydobywczej I, gdzie w odległości około 70 metrów od wylotu ze ściany zabudowano badaną instalację (rys. 9.33).

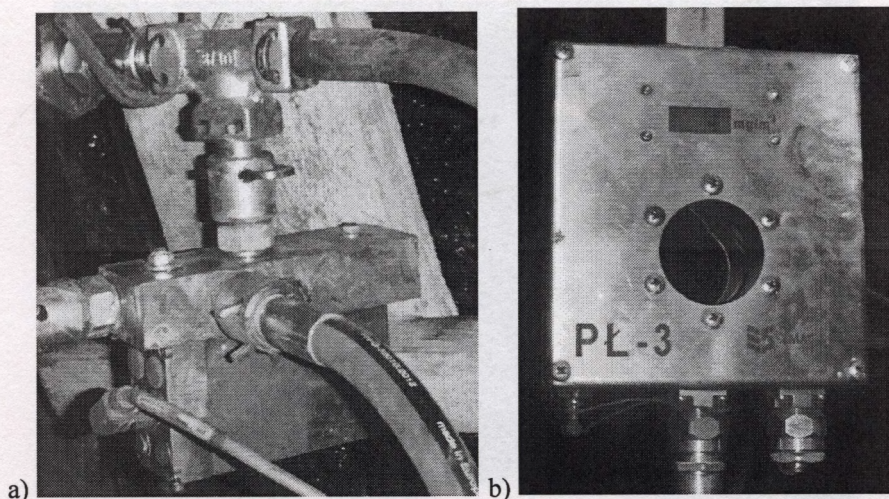


Rys. 9.33. Zabudowa stałej instalacji zraszającej rzeczywistego modelu strefy zabezpieczającej [51]

Budowa stałej „strefy zabezpieczającej” oparta została o belki zraszania ociosów i spągu „mobilnej strefy zraszającej”. Instalację zraszającą zamocowano w pobliżu osi wyrobiska, aby osiągnąć najlepszy efekt redukcji zapylenia (rys. 9.32).

Zasilanie zespołu zraszającego w media zraszające było realizowane poprzez układ dwóch zaworów zwrotnych sterowanych ZZS oraz elektrozaworu sterowania wstępnego. Sygnał przekazywany z modułu sterowania steruje cewką elektrozaworu, który zasila kanał pilotujący ZZS zabudowany na przewodzie wodnym powodując jego otwarcie. Przepływ wody w instalacji wytwarza ciśnienie w kanale pilotującym ZZS zabudowanym na przewodzie sprężonego powietrza, powodując jego otwarcie. Układ automatycznie włącza i wyłącza dopływ mediów zraszających.

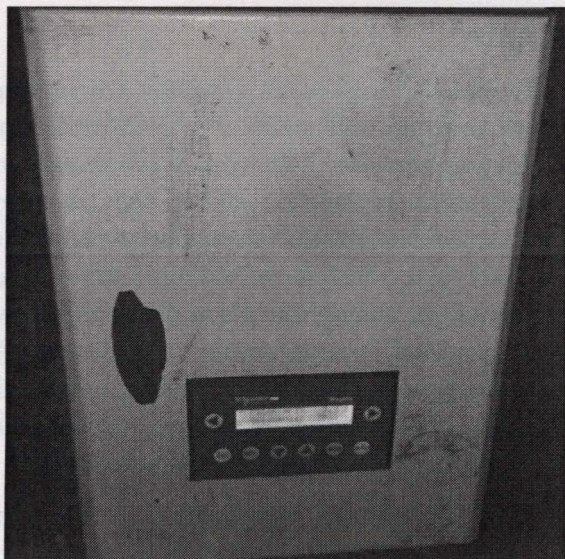
Odpowiednie sterowanie pracą strefy zabezpieczającej realizowane było poprzez elektroniczny moduł sterowania, zamocowany na ociosie wyrobiska (rys. 9.33) i połączony z elektrozaworem sterowania wstępnego firmy MARCO (rys. 9.34a) oraz pyłomierzem optycznym PŁ-3 (rys. 9.34b).



Rys. 9.34. Elementy współpracujące z modulem sterowania:

a) elektrozawór sterowania wstępnego, b) pyłomierz optyczny PŁ-3 [51]

W celu potwierdzenia redukcji intensywności osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej, przeprowadzono pomiary kontrolne intensywności osiadania w strefie zabezpieczającej za pomocą płytek pomiarowych HDF. Płytki te umieszczono w dziewięciu punktach na obrysie chodnika (rys. 9.11). Pomiary przeprowadzono równocześnie w czterech przekrojach chodnika. Pierwszy badany przekrój znajdował się 10 m przed instalacją zraszającą w miejscu zamontowania pyłomierza PŁ-3. Następne punkty pomiarowe znajdowały się 10, 20 i 30 metrów za stacjonarną instalacją zraszającą. Pył z płytek pomiarowych zbierano przed testami strefy zabezpieczającej oraz po nich.



Rys. 9.35. Moduł sterowania rzeczywistego modelu strefy zabezpieczającej podczas prób dołowych [51]

Badania intensywności osiadania pyłu kopalnianego i pyłu węglowego wykazały, że najbardziej odległe punkty pomiarowe (30 m za strefą zraszania) miały od 4 do 5 razy mniejszą ilość pyłu niż przed strefą zraszania. W miarę zbliżania się do strefy zraszania ilość pyłu na płytkach HDF rosła a 10 m od instalacji zraszającej była od 20% do 30% mniejsza niż na płytkach przed strefą zraszania. Dotyczyło to zarówno pyłu kopalnianego, jak i pyłu węglowego. Spadek ilości pyłu na płytkach pomiarowych w miarę oddalania się od strefy zraszającej, był prawdopodobnie spowodowany obciążeniem pyłu wodą zraszającą, która skracała drogę jego przepływu w dalsze części chodnika. Rozwiązanie to okazało się bardzo interesującym podejściem do tworzenia stref zabezpieczających i przewiduje się jego rozwijanie we współpracy z partnerami przemysłowymi.

10. Podsumowanie

Przeprowadzony przegląd krajowych i światowych rozwiązań w zakresie urządzeń zraszających oraz prowadzonych w tym zakresie prac badawczych pokazuje, że najwięcej prac naukowo-badawczych związanych z ograniczeniem zapylenia oraz zapobieganiem zapłonowi metanu i wybuchowi pyłu węglowego prowadzono w latach siedemdziesiątych, osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. W 2004 roku w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG zostały zapoczątkowane przez autora monografii prace w zakresie nowych rozwiązań powietrzno-wodnych instalacji zraszających, zorientowanych na szeroką komercjalizację wyników prac badawczo-rozwojowych. Opisane w monografii rozwiązania stanowią wkład projektowy i badawczy autora w dorobek Instytutu Techniki Górniczej KOMAG z okresu ostatnich kilkunastu lat.

Prace w zakresie bezpiecznej eksploatacji w warunkach zagrożenia zapłonem metanu i wybuchem pyłu węglowego zostały zapoczątkowane zaistniałymi katastrofami górniczymi i wynikającą z nich potrzebą zaproponowania bezpieczniejszego sposobu realizacji procesu wydobywczego. Podjęte w tym celu prace projektowe i badawcze poparte licznymi badaniami symulacyjnymi oraz stanowiskowymi wykonanymi na makietach i egzemplarzach doświadczalnych, a także badaniami in situ zaowocowały rozwiązaniem powietrzno-wodnej instalacji zraszającej przeznaczonej do kombajnów ścianowych. Doskonalenie tego rozwiązania było związane z potrzebą rozwiązywania problemów eksploatacyjnych oraz wzrostu efektywności procesu wydobywczego, a także podnoszenia bezpieczeństwa wobec występujących zagrożeń. Metoda projektowania powietrzno-wodnych urządzeń zraszających przeznaczonych do kombajnów ścianowych została rozwinięta i wykorzystana do projektowania urządzeń zraszających przeznaczonych do kombajnów chodnikowych, przesypów i instalacji do ograniczania zapylenia w chodnikach. Rozwijanie tej metody znalazło swoje zastosowanie w projektowaniu urządzeń zraszających do selektywnego ograniczania zapylenia w miejscach pojawiania się maszyny urabiającej wytwarzającej zapylenie oraz do opracowania rozwiązań wspomagających tworzenie stref zabezpieczających przed wybuchem pyłu węglowego poprzez wykorzystanie modeli intensywności osiadania pyłu w funkcji stężenia pyłu w powietrzu, w chodnikach i ścianach wydobywczych.

O słuszności przyjętej metody projektowania świadczyć mogą: popularność na rynku opisanych rozwiązań, pozytywne opinie użytkowników i Wyższego Urzędu Górniczego, a także liczne nagrody i wyróżnienia otrzymane w ramach krajowych i międzynarodowych konkursów. O nowatorskim podejściu do powietrzno-wodnych instalacji zraszających świadczą liczne patenty i wzory użytkowe, których większość została zastosowana w praktyce.

Częste przypadki stwierdzonej pylicy płuc świadczą jednoznacznie, że nadal istnieje problem nadmiernego zapylenia powietrza pyłami szkodliwymi w wyrobiskach kopalń węglowych. Co roku stwierdza się około 400 przypadków zachorowań u obecnych i byłych pracowników kopalń. W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG zaproponowano szereg rozwiązań powietrzno-wodnych i wodnych instalacji zraszających, które charakteryzują się wysoką skutecznością redukcji zapylenia, są proste w obsłudze i wymagają niewielkiej ilości wody zraszającej. Urządzenia te są skonstruowane tak, by w prosty i bezpieczny sposób relokować je w nowe miejsca stosowania. Powietrzno-wodne urządzenia zraszające, zabudowane we właściwych miejscach kopalni umożliwiają zredukowanie zapylenia do poziomu poniżej NDS. Rozwiązania urządzeń zraszających typu VIRGA, BRYZA czy też KOMAG są powszechne w wielu kopalniach węgla poprawiając komfort pracy ludzi oraz przyczyniając się do utrzymania właściwej czystości powietrza kopalnianego. Jedną z innowacyjnych cech tych urządzeń, jest możliwość uzależnienia ich działania od stanu zanieczyszczenia powietrza kopalnianego czy też obecności urobku na działających urządzeniach transportowych. Mimo skuteczności opracowanych urządzeń w redukcji zapylenia, istnieje wciąż wiele miejsc, w których przebywanie załogi jest możliwe jedynie przy stosowaniu środków ochrony indywidualnej. Intensywne prace w tym zakresie prowadzone w Instytucie KOMAG są skoncentrowane na unifikacji rozwiązań, podnoszeniu stopnia niezawodności działania i poziomu automatyzacji. Podnoszenie efektywności redukcji zapylenia w kopalniach jest realizowane również przez współpracę z Wyższym Urzędem Górniczym i Okręgowymi Urzędami Górniczymi w propagowaniu korzyści w poprawie komfortu pracy i ochrony zdrowia poprzez stosowanie powietrzno-wodnych instalacji zraszających.

Jednym z najtrudniejszych zagadnień jakiego podjął się autor w ramach projektu MEZAP, była poprawa bezpieczeństwa w strefach zabezpieczających przed przeniesieniem się wybuchu pyłu węglowego i zautomatyzowania ich

tworzenia z wykorzystaniem optymalnej ilości środków neutralizujących wybuchowy pył węglowy. Zadanie to było realizowane przy współpracy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG, Głównego Instytutu Górnictwa (w tym KD Barbara) oraz KWK Brzeszcze. Realizacja zadania bardzo wzmocniła stan wiedzy w zakresie mechanizmów i zjawisk występujących w strefach zabezpieczających. Podjęte działania umożliwiły opracowanie wstępnego opisu zależności pomiędzy stężeniem pyłu w powietrzu kopalnianym a intensywnością osadzania się pyłu w strefie zabezpieczającej. Działania podjęte w projekcie spowodowały wypracowanie i przebadanie rozwiązań urządzeń wspomagających tworzenie strefy zabezpieczającej. Rozwiązania te wymagają jeszcze szeregu badań i procesu doskonalenia, jednak otrzymane wyniki pozwalają już na zaproponowanie kopalniom urządzeń, które w znaczący sposób zwiększą poziom bezpieczeństwa w tych strefach. Instytut KOMAG w zakresie swoich prac dąży do wdrożenia tych urządzeń oraz do poprawy bezpieczeństwa pracy w rejonach zagrożonych wybuchem. Wdrażanie tego typu rozwiązań musi gwarantować niezawodne ich działanie, możliwość monitorowania uzyskiwanych efektów i szybkiego reagowania w przypadku zmiany poziomu zagrożenia. Umożliwiają to stosowane obecnie w kopalniach systemy monitoringu i przesyłu danych, jednak wymagane są: szeroko zakrojona kampania informacyjna dotycząca nowych rozwiązań, które podnoszą bezpieczeństwo pracy i podniesienie poziomu ufności pracowników w tym zakresie.

Opracowane w ITG KOMAG na przestrzeni lat 2004÷2017 urządzenia zraszające charakteryzują się bardzo prostą konstrukcją, co daje liczne możliwości aplikacyjne. Wszystkie one mają budowę modułową, a opracowana na te potrzeby liczna armatura umożliwia ich łatwą modyfikację i szybką zmianę poziomu automatyzacji.

Rozwój przemysłu wydobywczego, a także rosnąca intensywność eksploatacji węgla powodują konieczność nieustannego doskonalenia sposobów i urządzeń ograniczających zagrożenia towarzyszące tym procesom, jednocześnie mając na uwadze uzasadnienie ekonomiczne i wykorzystanie możliwego do zastosowania stanu techniki.

Istotnym elementem każdej instalacji zraszającej są dysze zraszające, których działanie w dużej mierze zależy od cech konstrukcyjnych oraz od jakości wody, a w szczególności od zawartości w niej części mechanicznych i zanieczyszczeń powodujących wytrącanie związków osadzających się

w konstrukcji dyszy. Stosowanie filtracji oraz urządzeń zapobiegających wytrącaniu się z wody substancji osadzających się w dyszy w dużej mierze może być realizowane przez właściwą filtrację mechaniczną i chemiczną. Jednak jak pokazuje praktyka, w warunkach uciążliwej eksploatacji górniczej, nie zawsze jest możliwa dbałość o odpowiednie parametry wody zraszającej. Rozwiązaniem tego problemu może być opracowanie powietrzno-wodnych dysz zraszających samoczyszczących, nad którymi prace zostały rozpoczęte m.in. w Instytucie KOMAG. Jednak ich wdrożenie musi być poprzedzone procesem badawczym i optymalizacją konstrukcji w aspekcie jej niezawodności działania, możliwości wytwarzania oraz gabarytów.

Opisane w rozdziałach rozwiązania urządzeń zraszających nie obejmują opracowanych przez ITG KOMAG tych, które są stosowane w zakładach przerobczych węgla czy też wytwórniach biomasy, a także urządzeń zraszających do redukcji uciążliwości zapachowych.

W innych gałęziach przemysłu mamy do czynienia z zagrożeniami analogicznymi do tych w górnictwie węglowym, zarówno w zakresie zagrożenia wybuchem, jak i z problemem występowania pyłów szkodliwych dla zdrowia. Należą do nich między innymi: koksownie, producenci biomasy, młyny, kopalnie surowców skalnych, elektrownie, wytwórnie opalu i inne. Opisane w monografii rozwiązania mogą, po odpowiedniej adaptacji, być zastosowane do zmniejszenia występujących zagrożeń w niektórych z wymienionych miejsc. Możliwości zastosowania zraszania powietrzno-wodnego mogą być również wykorzystane do ograniczania uciążliwości zapachowych albo do poprawy komfortu pracy w miejscach, gdzie występuje problem wysokiej temperatury. Jest to obecnie jeden z kierunków rozwoju urządzeń zraszających realizowanych przez KOMAG. Wykazane przez autora zalety zraszania powietrzno-wodnego powinny przyczynić się do poszukiwania kolejnych aplikacji tych urządzeń, jako efektywnego sposobu poprawy bezpieczeństwa i komfortu pracy.

Literatura

- [1] Bajorski J., Chrobok M., Srokosz Z.: Doświadczenia KWK Bolesław Śmiały oraz KWK Dębieńsko w zwalczaniu zagrożenia pyłów szkodliwych dla zdrowia. W: Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna U. S. Departament of Energy i Centrum Mechanizacji Górnictwa: „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górnictwym na świecie”. Szczyrk, 1996.
- [2] Bałaga D. i in.: Wdrożenie instalacji zraszającej powietrzno-wodnej kombajnu KSW 460NE w KWK PNIÓWEK w ścianie W 10. 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.
- [3] Bałaga D. i in.: Urządzenia do automatyzacji kopalnianych instalacji wodnych konstrukcji ITG KOMAG. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2015, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2015, s. 293-303. ISBN 978-83-60708-90-3.
- [4] Bałaga D. i in.: Zawór sterujący zraszaniem przenośnika taśmowego. Napędy i Sterowanie 2016 nr 2, s. 137-140.
- [5] Bałaga D. i in.: Innowacyjny system zraszania dla wyrobisk ścianowych. Maszyny Górnicze 2016 nr 3, s. 14-22.
- [6] Bałaga D., Jaszcuk 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; 6. ISBN 978-83-60708-93-4.
- [7] Bałaga D., Kalita M., Siegmund M.: Zastosowanie technologii druku 3D do wytwarzania dysz. Maszyny Górnicze 2017 nr 3, s. 14-22.
- [8] Bałaga D., Prostański D., Rojek P.: Zastosowanie instalacji zraszającej aerozolem powietrzno-wodnym przeznaczonej dla kombajnów ścianowych w aspekcie walki z zagrożeniem metanowym i pyłowym. Materiały na konferencję: KOMEKO 2007 Zarządzanie środowiskiem w aspekcie zrównoważonego rozwoju terenów uprzemysłowionych, Szczyrk, 20-22.03.2007, s. 223-238.
- [9] Bałaga D., Siegmund M.: Badania stanowiskowe skuteczności systemu zraszania kombajnu chodnikowego KPD w gaszeniu

- i niedopuszczaniu do zapłonu metanu. *Maszyny Górnicze* 2016 nr 2, s. 3-12.
- [10] Bałaga D., Siegmund M., Ryszka L.: System powietrzno-wodnego zraszania na drogach odstawy urobku. W: *Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność. KOMTECH 2012*, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012, s. 443-453, ISBN 978-83-60708-67-5.
- [11] Cebula D. i in.: Typoszereg zaworów zwrotnych sterowanych elektrycznie do zastosowania w strefach zagrożenia wybuchem metanu i pyłu węglowego. W: *Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność. KOMTECH 2014*. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014, s. 125-134, ISBN 978-83-60708-83-5.
- [12] Changchi Y., Zhizong C., Dewen L.: Prace naukowe i badania nad redukcją zapylenia za pomocą wentylacji w zmechanizowanych przodkach chodnikowych chińskich kopalń węgla. Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna U. S. Departament of Energy i Centrum Mechanizacji Górnictwa: „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górnictwym na świecie”. Szczyrk, 1996.
- [13] Chodura J.: Badania zapylenia wytwarzanego przy urabianiu kombajnami ścianowymi. Konferencja SITG: „Redukcja zapylenia w wyrobiskach korytarzowych i komorowych”. Szczyrk, 1993.
- [14] Chodura J.: Sposoby ograniczania zapylenia przy szybkim postępie kombajnu nowej generacji. Przodki ścianowe o wysokiej koncentracji produkcji. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 1994.
- [15] Colinet J. F. I in.: Best practices for dust control in coal mining, DHHS (NIOSH) Publication No. 2010-110, 2010.
- [16] Cybulski K., Malich B., Wieczorek A.: Evaluation of the effectiveness of coal and mine dust wetting. *Journal of Sustainable Mining* Vol. 14, iss. 2, 2015.
- [17] Fajarewicz K.: Model zależności wpływu kropel aerozolu na zmiany właściwości pyłu jako inteligentnego systemu sterowania strefą zabezpieczającą z uwzględnieniem zmian zapylenia w wyrobisku. Opracowanie wykonane na zlecenie ITG KOMAG, Gliwice, 2015.

- [18] Hamilton R. J., French A. G.: Research and development in dust control in coal mines. Minerals and the Environment. Paper 12, London, 1974.
- [19] Jankowski R., Organiscak J.: Przegląd doświadczeń badawczych związanych z redukcją zapylenia przy kombajnie. Redukcja zapylenia w Stanach Zjednoczonych. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna U. S. Departament of Energy i Centrum Mechanizacji Górnictwa: Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górnictwym na świecie. Szczyrk, 1996.
- [20] Jeschner E.: Poprawa bezpieczeństwa pracy w niemieckim górnictwie węgla kamiennego przez zastosowanie powietrzno-wodnego systemu zraszania firmy Paurat. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG-SITG, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowoczesne metody drążenia wyrobisk korytarzowych z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa pracy. Szczyrk 1996.
- [21] Jurkiewicz G., Augustyniak Z.: Doświadczenia KWK Halemba-Wirek w zwalczaniu pyłów szkodliwych dla zdrowia, przy pomocy mgły wodnej i przysłon siatkowych. Polski Kongres Górniczy. Górnictwo podziemne t.1 s. 93-100. Gliwice, 2010.
- [22] Kalita M., Prostański D.: Koncepcja systemu zraszania sektorowego zanożowego głowicy urabiającej kombajnu chodnikowego - część I. Przegląd Górniczy 2015 nr 7, s. 43-48.
- [23] Kalukiewicz A.: Wysokociśnieniowe zraszanie wewnętrzne w kombajnach chodnikowych. Przegląd Górniczy 1998 nr 3.
- [24] Kalukiewicz A., Klich A., Kotwica K.: Możliwość i efektywność redukcji zapylenia przez wprowadzenie wysokociśnieniowego strumienia wody w strefie skrawania. Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG: Zwalczanie zagrożeń pyłowych w górnictwie. Wisła, 1999.
- [25] Kalukiewicz A., Pieczora E., Siejna K.: Techniczne możliwości realizacji zraszania w kombajnach chodnikowych. Maszyny Górnicze 2002 nr 91, s. 38-46.
- [26] Karaźniewicz K., Sedlaczek J.: Dysze produkcji Spółki Stalmet do górnictwych instalacji zraszających. Zwalczanie zapylenia w wyrobiskach korytarzowych i komorowych. Materiały konferencyjne. Zarząd Główny SITG w Katowicach, Zarząd

- Oddziału SITG w Zabrze, Zarząd Koła Zakładowego SITG Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG. Szczyrk, 1993. s. XII 1-4.
- [27] Karaźniewicz K., Sedlaczek J.: Dysze produkcji Spółki Stalmet do górniczych instalacji zraszających. *Maszyny Górnicze* 1994 nr 47, s. 12-15.
- [28] Karaźniewicz K., Sedlaczek J.: Nowe inżektorowe urządzenia zraszające dla górnictwa produkcji ZP Stalmet. *Maszyny Górnicze*. 2002 nr 91, s. 30-34.
- [29] Karowiec K.: Redukcja zapylenia za pomocą wyrzutu strumienia powietrza nasyconego mgłą wodną na źródło pyłu. *Maszyny Górnicze. Urządzenia Odpylające*. 1984. Nr 5.
- [30] Khair A.: Wpływ kształtu narzędzia urabiającego na powstawanie frakcji wdychanej pyłu. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna U. S. Departament of Energy i Centrum Mechanizacji Górnictwa: „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górnictwym na świecie”. Szczyrk 1996.
- [31] Klich A. i in.: Redukcja emisji pyłów przy stosowaniu wysokociśnieniowego zraszania wewnętrznego organów urabiających. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna U. S. Departament of Energy i Centrum Mechanizacji Górnictwa: „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górnictwym na świecie”. Szczyrk, 1996.
- [32] Kozieł A.: Metody pomiarów i kontroli poziomów zapylenia w systemach ścianowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowe możliwości maszyn urabiających. Szczyrk, 1997.
- [33] Kozieł A., Pieczora E., Prostański D.: Prace badawcze Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG na rzecz zwalczania zapylenia w wyrobiskach ścianowych. *Maszyny Górnicze* 2005 nr 4, s. 23-28.
- [34] Krackhecke M., Finkenbusch R.: Wassernebelbedüsungen für Querschneidköpfe und wettertechnische Optimierungen in TSM-Votrieben. *Glückauf*. 2002 nr 5 (138).
- [35] Kwiecień Z., Szponder T.: Ocena efektywności dysz stosowanych do redukcji zapylenia powietrza. *Wiadomości Górnicze* 1989 nr 8-9.
- [36] Kusak E., Sedlaczek J.: Prace badawczo-konstrukcyjne nad skutecznym systemem zraszania z organów urabiających kombajnów ścianowych. *Przegląd Górniczy* 1994 nr 4, s. 5-10.

- [37] Lange U.: Obniżenie frakcji wdychanej pyłu poprzez zastosowanie środka zwilżającego zawierającego olejki z owoców cytrusowych wyciskane na zimno. W: Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna U. S. Departament of Energy i Centrum Mechanizacji Górnictwa: Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górnictwym na świecie. Szczyrk, 1996.
- [38] Lebecki K. i in.: Wyniki pilotażowych badań nowej instalacji powietrzno-wodnego zraszania na kombajnach ścianowych, w aspekcie gaszenia i zapobiegania zapłonom gazu. Przegląd Górniczy 2006 nr 7-8, s. 76-81.
- [39] Libera K. i in.: System powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w kombajnach chodnikowych produkcji REMAG-u. Maszyny Górnicze 2010 nr 2, s. 19-24.
- [40] Malich B. i in.: Badania wybuchowego pyłu węglowego w strefach zabezpieczających. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność. KOMTECH 2015, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2015.
- [41] Ministerstwo UgołnojjPromysziennosti: Oborudowanie i pribory dla kompleksnowoobiespyliwanijaugolnych szacht, raziezow i obogatitielnychfabrik SSSR, Katalóg, Moskwa 1979.
- [42] Organiscak J., Jankowski R.: Metody zwalczania frakcji wdychalnej pyłu, wytwarzanego poza kombajnem ścianowym, stosowane w amerykańskich wyrobiskach ścianowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna U. S. Departament of Energy i Centrum Mechanizacji Górnictwa: Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górnictwym na świecie. Szczyrk, 1996.
- [43] Pieczora E.: Wpływ hydraulicznych parametrów zasilania na efektywność zraszania w kombajnach chodnikowych. Praca doktorska Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków, 2009.
- [44] Pieczora E. i in.: Ocena skuteczności strumienia wytworzonego w dyszy dwuczynnikowej w aspekcie ograniczania zagrożenia zapłonu metanu i wybuchu pyłu węglowego. Maszyny Górnicze 2009 nr 3, s. 20-24.
- [45] Pieczora E. i in.: Nowa koncepcja zraszania powietrzno-wodnego do zwalczania zapylenia i zagrożenia metanowego. Bezpieczeństwo Pracy Ochrona Środowiska Górniczego 2007 nr 3, s. 3-10.

- [46] PN-G-04036: 1997 Zabezpieczenie przeciwwybuchowe zakładów górniczych - Zabezpieczenie przed wybuchem pyłu węglowego - Oznaczanie intensywności osiadania pyłu.
- [47] PN-G-04037: 1998 Zabezpieczenia przeciwwybuchowe zakładów górniczych - Zabezpieczenie przed wybuchem pyłu węglowego - Oznaczanie zawartości części niepalnych w pyłe kopalnianym.
- [48] Praca zbiorowa. Red. G. A. Shirey: „Dust control handbook for longwall mining operation”. Wyd. Bureau of Mines United States Department of the Interior, 1985.
- [49] Projekt celowy: System zewnętrznego zraszania kombajnu ścianowego zapewniający bezpieczną eksploatację w warunkach zagrożenia metanowego, nr 03601/CT12-6/2004, 2004-2007.
- [50] Projekt INERG: Innowacyjne rozwiązania maszyn wydobywczych podnoszące bezpieczeństwo energetyczne kraju. Initech nr ZPB/5/64812/IT2/10, 2010-2014.
- [51] Projekt MEZAP: Modelowanie mechanizmu gromadzenia się wybuchowego pyłu węglowego w pobliżu frontów eksploatacyjnych w aspekcie identyfikacji, oceny i niwelacji możliwości powstania jego wybuchu nr PBS1/B2/4/2012, 2012-2015.
- [52] Prostański D. i in.: Instalacja zraszająca w kombajnie KSW-460NE. Wiadomości Górnicze 2007 nr 7- 8, s. 409-416.
- [53] Prostański D. i in.: Badania i ocena efektów wdrożenia powietrzno-wodnej instalacji zraszającej kombajnu KSW-460NE. Materiały na konferencję: Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego KOMTECH 2007, Szczyrk 2007, s. 241-253.
- [54] Prostański D.: Ocena skuteczności systemów zraszania powietrzno-wodnego i wodnego w redukcji zapylenia. Gór. Śr., Pr. Nauk. GIG 2011 nr 4/2, s. 398-408.
- [55] Prostański D.: Dust control with use air-water spraying system. Arch. Min. Sci. 2012 No. 4, s. 975-990.
- [56] Prostański D.: Ocena skuteczności stosowania powietrzno-wodnych urządzeń zraszających na przesypach przenośników w wyrobiskach korytarzowych. Przegląd Górniczy 2012 nr 10, s. 71-77.
- [57] Prostański D.: Use of air-and-water spraying systems for improving dust control in mines. J. Sust. Min. 2013 nr 2 s. 28-33, ISSN 2300-1364.

- [58] Prostański D.: Wykorzystanie powietrzno-wodnych urządzeń zraszających do redukcji pyłu w powietrzu kopalnianym. Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych. Monografia, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2013, s. 83-96, ISBN 978-83-930353-1-1.
- [59] Prostański D.: Powietrzno-wodne instalacje zraszające sposobem poprawy jakości powietrza w kopalniach. Prewencja zagrożeń naturalnych. Praca zbiorowa pod redakcją Józefa Kabiesza, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013 s. 368-374, ISBN 978-83-61126-71-3.
- [60] Prostański D.: Powietrzno-wodne urządzenia zraszające zmniejszające zapylenie w ścianach węglowych. Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2013, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013, s. 189-199, ISBN 978-83-60708-78-1.
- [61] Prostański D.: Powietrzno-wodne instalacje zraszające sposobem poprawy jakości powietrza w kopalniach. Bezp. Pr. Ochr. Śr. Gór. 2014 nr 12, s. 27-33.
- [62] Prostański D.: Experimental study of coal dust deposition in mine workings with the use of empirical models. J. Sust. Min. 2015 nr 2 s. 108-114, ISSN 2300-1364.
- [63] Prostański D.: Empirical models of zones protecting against coal dust explosion. Arch. Min. Sci. 62, 2017, 3, str. 611-619.
- [64] Prostański D. i in.: Wyniki badań stanowiskowych kurtyny powietrzno-wodnej do kombajnu chodnikowego R-200. Bezp. Pr. Ochr. Śr. Gór. 2008 nr 8, s. 30-37.
- [65] Prostański D. i in.: Zraszanie powietrzno-wodne, jako nowa metoda zwalczania zagrożeń pyłowych i metanowych w polskich kombajnach górniczych. Maszyny Górnicze 2008 nr 2, s. 24-32.
- [66] Prostański D. i in.: System powietrzno-wodnego zraszania zewnętrznego kombajnu ścianowego. W: Prace wdrożeniowe. Innowacyjne Techniki i Technologie Mechanizacyjne, Monografia nr 3, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008, s. 60-70, ISBN 978-83-60708-27-9.
- [67] Prostański D. i in.: Powietrzno-wodna instalacja zraszająca do kombajnów górniczych - rozwiązanie ciągle doskonalone. Maszyny Górnicze 2009 nr 1, s. 3-12.

- [68] Prostański D. i in.: Wyniki badań stanowiskowych instalacji powietrzno-wodnej zastosowanej w kombajnie ścianowym typu KSW-1140EZ. Przegląd Górniczy 2010 nr 3-4, s. 40-44.
- [69] Prostański D. i in.: Badania zapylenia w strefach zabezpieczających. Maszyny Górnicze 2016 nr 1, s. 3-10.
- [70] Prostański D., Bałaga D.: Prace badawcze Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w zakresie powietrzno-wodnych instalacji zraszających. Maszyny Górnicze 2010 nr 3-4, s. 156-162.
- [71] Prostański D., Bałaga D., Siegmund M.: Badania cech użytkowych instalacji zraszania powietrzno-wodnego kombajnu KSW-800NE.W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, KOMTECH 2013. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013, s. 211-224, ISBN 978-83-60708-78-1.
- [72] Prostański D., Jedziniak M.: Rozwój systemów zwalczania zagrożeń pyłowych. Maszyny Górnicze 2013 nr 2, s. 87-98.
- [73] Prostański D., Pieczora E., Sedlaczek J.: Przegląd technologii zwalczania zapylenia. W: System powietrzno-wodnego zraszania zewnętrznego kombajnu ścianowego. Innowacyjne Techniki i Technologie Mechanizacyjne, Monografia nr 3, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008, s. 2-13, ISBN 978-83-60708-27-9.
- [74] Prostański D., Rojek P.: Projektowanie, badania oraz próby eksploatacyjne instalacji zraszania powietrzno-wodnego do zwalczania zapylenia i zagrożeń metanowych, w kombajnie ścianowym typu KSW- 460NE. Maszyny Górnicze 2006 nr 4. s. 37-44.
- [75] Prostański D., Rojek P.: Badania systemu zraszania powietrzno-wodnego. W: System powietrzno-wodnego zraszania zewnętrznego kombajnu ścianowego. Innowacyjne Techniki i Technologie Mechanizacyjne, Monografia nr 3, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008, s. 23-35, ISBN 978-83-60708-27-9.
- [76] Prostański D., Rojek P., Sedlaczek J.: Wyniki i przebieg prób eksploatacyjnych zraszania powietrzno-wodnego, zastosowanego do zwalczania zapylenia i zagrożeń metanowych, w kombajnie ścianowym typu KSW-460NE pracującym w KWK „Pniówek”. Materiały na konferencję: Innowacyjne i bezpieczne systemy

mechanizacyjne do eksploatacji surowców mineralnych KOMTECH 2006, t.1, Zakopane 2006, s. 145-156.

- [77] Prostański D., Rojek P., Sedlaczek J.: Nowe rozwiązania dysz zraszających dla górnictwa opracowane w Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG. Materiały na konferencję: Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego KOMTECH 2007, Szczyrk 2007, s. 231-240.
- [78] Prostański D., Rojek P., Sedlaczek J.: Wykonanie egzemplarza doświadczalnego oraz badania stanowiskowe i eksploatacyjne. W: System powietrzno-wodnego zraszania zewnętrznego kombajnu ścianowego. Innowacyjne Techniki i Technologie Mechanizacyjne, Monografia nr 3, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008, s. 36-59.
- [79] Prostański D., Ryszka L.: Badania skuteczności redukcji zapylenia powietrzno-wodnym systemem VIRGA na drogach odstawy urobku. Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, KOMTECH 2012 Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012, s. 455-464.
- [80] Raport roczny (2014) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2015.
- [81] Rogoziński M.: Zwilżacz CaBo jako środek obniżenia zapylenia powietrza kopalnianego. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG: Zwalczanie zagrożeń pyłowych w górnictwie. Wisła, 1999.
- [82] Rojek P.: Badanie możliwości praktycznego zastosowania aerozolu powietrzno-wodnego w redukcji zapylenia w wyrobiskach eksploatacyjnych. Praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków 2011.
- [83] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. z 2017 r., poz. 1118).
- [84] Sedlaczek J.: Problemy zwalczania zapylenia powstającego w czasie pracy kombajnów ścianowych. Maszyny Górnicze 1984 nr 5, s. 9-18.
- [85] Sedlaczek J.: Zwalczanie zapylenia w wyrobiskach drążonych kombajnami chodnikowymi. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. 1984 nr 1, s. 13-19.

- [86] Sedlaczek J.: Wpływ parametrów wody na skuteczność instalacji zraszających w kombajnach ścianowych. Materiały na konferencję: Problemy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w polskim górnictwie. Czynniki szkodliwe w środowisku pracy, Kokotek k/Lublińca, kwiecień 2000, s. 105-107.
- [87] Selecki A., Gradoń L.: Podstawowe procesy przemysłu chemicznego, WNT, Warszawa, 1985. ISBN 8320406501.
- [88] Staniczek F. i in.: Powietrzno-wodna kurtyna zraszająca zwiększeniem bezpieczeństwa eksploatacji kombajnu chodnikowego R-200. Maszyny Górnicze 2007 nr 4, s. 25-31.
- [89] Staniczek F. i in.: Kurtyna powietrzno-wodna kombajnu chodnikowego R200. Materiały na konferencję: Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego KOMTECH 2007, Szczyrk 2007, s. 255-263.
- [90] Sułkowski J.: Optymalna prędkość powietrza w ścianach ze względu na zwalczanie frakcji respirabilnej. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG: „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w górnictwie”. Wisła 1999.
- [91] Szponder T., Kapusta M., Skrzypkowski K.: Optymalizacja parametrów mikrostruktury rozpylonej cieczy pod kątem uzyskania maksymalnie możliwych efektywności łączenia pyłów z powietrza kopalnianego. Konferencja GIG 33rd Conference of Safety in Mines Research Institutes. Wisła 2009.
- [92] Winkler T. i in.: Badania eksploatacyjne wybranych podsystemów kombajnu KSW-800NE. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność KOMTECH 2014, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014, s. 373-391. ISBN 9788360708835.
- [93] Winkler T. i in.: Tworzenie innowacyjnego rozwiązania kombajnu ścianowego do urabiania pokładów niskich. Projekt realizowany w ramach inicjatywy IniTech. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność. KOMTECH 2012 Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012, s. 201-210.
- [94] Wyższy Urząd Górniczy: Ocena stanu bezpieczeństwa pracy, ratownictwa górniczego oraz bezpieczeństwa powszechnego

w związku z działalnością górniczo-geologiczną w 2016 roku (porównanie od roku 2012). Katowice 2017.

- [95] Zacharzewski J., Kwiecień Z.: Kryterium efektywności łączenia pyłu z powietrza kopalnianego kroplami rozpylonej wody. Sympozjum Naukowe Redukcja zapylenia powietrza kopalnianego w górnictwie. Katowice 1974.

Strony internetowe

- [96] <http://anlagenbau.krummenauer.de/node/186> (11.09.2017 r.)
- [97] https://pl.wikipedia.org/wiki/Katastrofy_g%C3%B3rnicze_w_Polsce (04.09.2017 r.)
- [98] www.bete.com/products/xa-dir.html (11.09.2017) r.
- [99] www.pnr-polska.eu/zbiorzy/ctg-az-18-br.pdf (11.09.2017 r.)
- [100] <http://www.rp.pl/arttykul/324249-Swieta-Barbara-i-gornicze-wypadki-.html#ap-10> (02.09.2017 r.)
- [101] www.spray.com/v1/spray_nozzles/air-atomizing_nozzles.aspx (12.09.2017 r.)
- [102] www.wug.gov.pl (04.09.2017 r.)

Patenty

- [103] Prostański D. i in.: Automatycznie sterowany zespół sprężarki Polska. Zgłoszenie wynalazcze P.417 884. Zgłosz. 2016.
- [104] Prostański D. i in.: Chodnikowa zraszająca zaporą przeciwpyłowa. Opis Patentowy 223913. Opubl. 2015.
- [105] Prostański D. i in.: Dysza dwuczynnikowa zraszająca. Polska. Opis patentowy. 212229. Opubl. 2012.
- [106] Prostański D. i in.: Dysza zraszająca. Polska. Opis patentowy 221087. Opubl. 2016.
- [107] Prostański D. i in.: Dwuczynnikowa dysza zraszająca. Polska. Opis patentowy 214646. Opubl. 2013.
- [108] Prostański D. i in.: Dwuczynnikowa dysza zraszająca. Polska. Opis patentowy 221151. Opubl. 2016.
- [109] Prostański D. i in.: Dwuczynnikowa dysza zraszająca z regulowaną objętością komory mieszania. Polska. Opis patentowy 213 447. Opubl. 2012.

- [110] Prostański D. i in.: Dwuczynnikowa nastawna dysza zraszająca. Polska. Wzór użytkowy 68497 Opubl. 2016.
- [111] Prostański D. i in.: Instalacja ciśnieniowa powietrzno-wodna kombajnu górniczego. Polska. Opis patentowy 199921. Opubl. 2008.
- [112] Prostański D. i in.: Instalacja zraszająca do kombajnów górniczych. Polska. Opis patentowy 215177. Opubl. 2013.
- [113] Prostański D. i in.: Instalacja zraszająca do kombajnów górniczych z układem automatycznego wyboru rodzaju zraszania. Polska. Opis patentowy 216863. Opubl. 2013.
- [114] Mazurkiewicz A. i in.: Instalacja zraszająca powietrzno-wodna. Polska. Opis patentowy 216860. Opubl. 2013.
- [115] Prostański D. i in.: Kurtyna zraszająca do zraszania pyłu w wyrobiskach górniczych. Polska. Zgłoszenie wynalazcze P.397340. Zgłosz. 2011.
- [116] Prostański D. i in.: Modułowy zawór zwrotny. Polska. Zgłoszenie wzoru użytkowego W.125617. Zgłosz. 2016.
- [117] Prostański D., Sedlaczek J., Bałaga D.: Mieszalnik do powietrzno-wodnych instalacji zraszających. Polska. Opis patentowy 221058. Opubl. 2016.
- [118] Prostański D. i in.: Organ urabiający kombajnu górniczego wyposażony w instalację zraszającą. Polska. Opis patentowy 210667. Opubl. 2011.
- [119] Prostański D. i in.: Powietrzno-wodna bateria zraszająca. Polska. Wzór użytkowy 68496. Opubl. 2016.
- [120] Prostański D. i in.: Powietrzno-wodna instalacja zraszająca do górniczych kombajnów. Polska. Opis patentowy 221193. Opubl. 2016.
- [121] Prostański D. i in.: Samoczyszcząca dwuczynnikowa dysza zraszająca. Polska. Opis patentowy 223893. Opubl. 2016.
- [122] Prostański D. i in.: Sektorowy rozdzielacz czynnika/czynników zraszania do instalacji zraszających maszyn górniczych. Polska. Opis patentowy 217480. Opubl. 2014.
- [123] Meder A. i in.: Sposób i instalacja do zraszania powietrzno-wodnego z wielostopniowym wytwarzaniem mieszaniny czynników. Polska. Opis patentowy 213334. Opubl. 2013.

- [124] Prostański D., Bałaga D., Kalita M.: Sposób neutralizacji pyłów osiadłych oraz instalacja zraszająca do pyłów osiadłych. Zgłoszenie wzoru użytkowego W.125935. Zgłosz. 2012.
- [125] Prostański D. i in.: Sposób neutralizacji pyłów osiadłych i instalacja do neutralizacji pyłów osiadłych. Polska. Zgłoszenie wynalazcze 410860. Zgłosz. 2015.
- [126] Prostański D. i in.: Sposób oraz instalacja do zasilania i zraszania powietrzno-wodnego w wyrobisku ścianowym. Polska. Opis patentowy 224886. Opubl. 2017.
- [127] Prostański D., Sedlaczek J.: Sposób zraszania powietrzno-wodnego. Polska. Zgłoszenie wynalazcze 392829. Zgłosz. 2010.
- [128] Lebecki K. i in.: Stanowisko do badań skuteczności działania instalacji zraszających kombajnów górniczych. Polska. Zgłoszenie wynalazcze 389630. Zgłosz. 2009.
- [129] Prostański D. i in.: System zraszania kombajnu węglowego. Polska. Wzór użytkowy. Wzór użytkowy 66115. Opubl. 2012.
- [130] Prostański D. i in.: System zraszania z automatycznym wyborem jego intensywności, sterowany wielkością występującego stężenia metanu. Polska. Zgłoszenie wynalazcze 412806. Zgłosz. 2015.
- [131] Prostański D. i in.: Układ automatycznego zraszania górniczych maszyn urabiających i ładujących. Polska. Opis patentowy 222502. Opubl. 2106.
- [132] Prostański D. i in.: Układ automatycznego zraszania źródeł zapylenia na kopalnianych drogach transportowych. Polska. Opis patentowy 216 674. Opubl. 2014.
- [133] Prostański D. i in.: Układ automatycznego zraszania źródeł zapylenia na kopalnianych drogach transportowych. Polska. Zgłoszenie wynalazcze 403378. Zgłosz. 2013.
- [134] Prostański D. i in.: Układ sterujący systemem kontroli zapylenia w wyrobiskach górniczych. Zgłoszenie wynalazcze 417098. Zgłosz. 2016.
- [135] Prostański D. i in.: Urządzenie chroniące elementy optyczne przed zanieczyszczeniem. Polska. Opis patentowy 223542. Opubl. 2016.
- [136] Meder A. i in.: Urządzenie do zraszania, zwłaszcza powietrzno-wodnego. Polska. Opis patentowy 213239. Opubl. 2012.

- [137] Prostański D. i in.: Urządzenie do zraszania, zwłaszcza powietrzno-wodnego. Polska. Opis patentowy 217316. Opubl. 2013.
- [138] Prostański D. i in.: Urządzenie do zraszania, zwłaszcza powietrzno-wodnego. Polska. 217728. Opubl. 2014.
- [139] Prostański D. i in.: Urządzenie dozujące. Polska. Opis patentowy 225713. Opubl. 2017.
- [140] Prostański D. i in.: Uszczelnienie zaworu otwierającego lub zamykającego przepływ cieczy. Polska. Zgłoszenie wynalazcze P.413450. Zgłosz. 2015.
- [141] Prostański D. i in.: Zamykające i otwierające urządzenie sterujące przepływem. Polska. Opis patentowy 224348. Opubl. 2016.
- [142] Prostański D. i in.: Zespół pompowo-zaworowy. Polska. Wzór użytkowy 69281. Opubl. 2017.
- [143] Prostański D. i in.: Zespół sterujący przepływem zraszającego medium. Polska. Zgłoszenie wynalazcze 403935. Zgłosz. 2013.
- [144] Prostański D. i in.: Zespół zaworów. Polska. Opis patentowy 216844. Opubl. 2014.
- [145] Prostański D. i in.: Zespół zaworów z elektromagnetycznym sterowaniem pośrednim. Polska. Opis patentowy 224347. Opubl. 2016.
- [146] Prostański D. i in.: Zespół zaworów z elektromagnetycznym sterowaniem pośrednim z przepływem w jednym kierunku. Polska. Zgłoszenie wynalazcze 409866. Zgłosz. 2014.
- [147] Prostański D. i in.: Zespół zaworów zwrotnych. Polska. Opis patentowy 216496. Opubl. 2014.

Zraszanie powietrzno-wodne jako metoda ograniczenia zagrożenia zapłonem metanu i wybuchem pyłu węglowego oraz redukcji zapylenia powietrza

Streszczenie

W monografii przedstawiono opracowane na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat rozwiązania, badania oraz efekty wdrożenia powietrzno-wodnych urządzeń zraszających opracowanych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. Służą one do redukcji zapylenia powietrza kopalnianego oraz ograniczania zagrożenia zapłonem metanu i są montowane w kombajnach ścianowych, kombajnach chodnikowych, obudowach zmechanizowanych w ścianach węglowych, na przenośnikach taśmowych i zgrzeblowych oraz w wyrobiskach chodnikowych. Zastosowane, w odpowiednio wybranych miejscach kopalni, stanowią system zraszania podnoszący bezpieczeństwo i komfort pracy. Opisane aplikacje, poparte wynikami badań, jednoznacznie wskazują na możliwości poprawy bezpieczeństwa funkcjonowania kopalni. Autor przedstawił kompletny proces powstawania rozwiązań powietrzno-wodnych urządzeń zraszających poczynając od prac koncepcyjnych, poprzez prace projektowe, badawcze i wdrożeniowe. Były one każdorazowo spowodowane potrzebą rozwiązywania problemów bezpiecznego funkcjonowania kluczowych węzłów w procesie wydobywania i transportu węgla. Opisane urządzenia mogą przyczynić się do całkowitego wyeliminowania zagrożenia zapłonem metanu oraz do redukcji stężenia pyłu w powietrzu kopalnianym nawet o 90%.

W monografii opisano również prace zmierzające do wspomagania tworzenia stref zabezpieczających przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego. Efekty pierwszych prac badawczych pokazują możliwości poprawy bezpieczeństwa w tych strefach.

Innowacyjny i oryginalny charakter opracowanych w Instytucie KOMAG rozwiązań pokazano w odniesieniu do przeglądu dostępnych urządzeń zraszających w Polsce i w świecie.

Air-water spraying method for reducing the methane and coal dust explosion hazard as well as for reducing the airborne dust concentration

Abstract

Technical solutions, tests and implementation results of air-water spraying devices, developed within recent a dozen or so years at the KOMAG Institute of Mining Technology are presented in the monograph. They are used to control airborne dust in mines as well as to reduce possible hazard of methane ignition. They are installed in longwall shearers, roadheaders, powered roof supports, on belt and flight-bar conveyors as well as in roadway workings. When applied in properly selected mine areas, they can form a spraying system increasing operational safety and work comfort. Described applications, confirmed by test results, clearly indicate a possibility of improving mine operational safety. The author has presented a full development process of solutions for air-water spraying devices starting from conceptual work, then designing process, tests and final implementation. Each time, this development process was the result of need of solving problems of key nodes' safe functionality in coal mining and transportation operations. The described devices can contribute to a total elimination of methane explosion hazard and to a reduction of airborne dust concentration even by 90%.

The research projects, aiming at supporting a creation of protective zones against a propagation of coal dust explosion, are also described in the monograph. The results of the first research projects indicate a possibility of safety improvement in these zones.

An innovative and original character of the design solutions developed at the KOMAG Institute, is discussed in relation to a review of available spraying devices operating in Poland and in the world.

