

ELŻBIETA VOGT*, BRONISŁAW BUCZEK**

Rola i znaczenie pyłu wapiennego w systemie zabezpieczeń przeciwwybuchowych w kopalniach węgla kamiennego

Słowa kluczowe

Pył wapienny, zapory przeciwwybuchowe, pył węglowy

Streszczenie

Nieszczęśliwe wypadki, które wydarzyły się w ostatnim okresie w górnictwie węglowym wskazują, że pomimo szerokich działań mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa nadal istnieje zagrożenie życia i wystąpienia strat spowodowanych wybuchami. Wiele prac wskazuje, że efektywnie na przerywanie przenoszenia wybuchu działają zapory z pyłu kamiennego wodoodpornego, wytwarzanego podczas mielenia kamienia wapiennego. Jednakże zmiany zachodzące w kamieniołomach mogą zmniejszyć liczbę ewentualnych producentów pyłu. Niedopuszczenie do tego stanu wymaga znalezienia innej metody jego wytwarzania. We wstępnych badaniach konieczne jest poznanie roli i znaczenia pyłu w systemie zabezpieczeń kopalń. Pył wapienny musi posiadać właściwości hydrofobowe. Te zaś wynikają z ilości osadzonego kwasu stearynowego i sposobu hydrofobizacji. Właściwości hydrofobowe pyłu powinny utrzymywać się przez jak najdłuższy czas. Pył powinien charakteryzować się odpowiednią lotnością oraz niską ceną.

Wprowadzenie

Wybuchy pyłu węglowego, choć dobrze rozpoznane ciągle należą do największych zagrożeń w górnictwie węglowym. Nieszczęśliwe wypadki, jakie miały miejsce w ostatnim okresie wskazują, że pomimo szeroko zakrojonych działań mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa pracy w tym przemyśle, nadal istnieje duże zagrożenie życia i wystąpienia strat materialnych. W 1974 roku w Kopalni Silesia doszło do największej katastrofy w pol-

* Dr inż., ** Prof. dr hab. inż., Wydział Paliw i Energii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

skim górnictwie – podczas wybuchu pyłu węglowego zainicjowanego przez wybuch metanu, zginęło 34 górników. W 1987 w wyniku wybuchu pyłu węglowego w kopalni KWK Mysłowice zginęło 19 górników. Pył węglowy wybuchł również w lutym 2002 roku, zabijając 10 górników z Kopalni Jas-Mos w Jastrzębiu-Zdroju. Skutki wypadku w Kopalni Halemba, w listopadzie 2006, zdaniem specjalistów, nie byłyby tak tragiczne, gdyby nie zainicjowany przez wybuch metanu późniejszy wybuch pyłu węglowego. To krótkie przypomnienie z kroniki wypadków uświadamia nam, jak bardzo wybuchy pyłu są nadal niebezpieczne. Niebezpieczeństwo to może nawet wzrosnąć, jeśli weźmie się pod uwagę zmiany, jakie pojawiają się w procesach wydobywczych. Prowadzone prace związane z restrukturyzacją polskiego górnictwa dążą w kierunku zwiększenia rentowności produkcji węgla w wyniku skupienia wydobycia na wąskim obszarze występowania wysokowydajnych kompleksów ścianowych. Ta tak zwana wysoka koncentracja wydobycia może powodować zwiększenie poziomu zagrożenia wybuchowego czy wręcz być przyczyną pojawienia się nowych zagrożeń naturalnych (Cybulski 2005). Pomimo że zagadnieniom wybuchu oraz przenoszenia fali wybuchu przez pył węglowy poświęcono wiele prac (Wolański 1992; Field 1982; Lebecki 1993; Cybulski 2003), to w świetle przedstawionych faktów temat wydaje się być nadal istotny i aktualny. Istnieje potrzeba poszukiwania nowych oraz udoskonalania znanych sposobów walki z niebezpieczeństwami, jakie występują w kopalniach. Badania w tym kierunku muszą być oparte na znajomości mechanizmów oraz warunków sprzyjających powstawaniu wspomnianych zagrożeń.

1. Rola pyłu wapiennego w procesie hamowania wybuchu

Prekursor zwalczania zagrożenia pyłowego w polskim górnictwie W.B. Cybulski (Cybulski 1973; Hirsch i in. 1997) podzielił system zabezpieczeń przed wybuchem na tzw. linie obrony, na które składa się zarówno zapobieganie przyszłym wybuchom, jak i niwelowanie skutków tych już powstałych. Pierwszą linią obrony określa się metody służące do zwalczania pyłu węglowego w miejscu jego wytwarzania. Głównie sprowadzają się one do zmniejszenia ilości wytwarzanego pyłu i usuwania powstałego. Opylanie pyłem kamiennym przed strzałami w przodku to jedna z form zabezpieczeń stanowiących drugą linię obrony. Trzecia linia obrony zajmuje się przeciwdziałaniem rozwojowi zaistniałego już wybuchu pyłu węglowego. Przy tego typu zabezpieczeniu stosuje się najczęściej metodę opylania wyrobiska pyłem kamiennym. Istotą tej metody jest hamowanie wybuchu przez pył wapienny, który podwyższa zawartość części niepalnych w przewidywanych strefach wybuchu. Ostatnia ze wspomnianych linii obrony to zapory przeciwwybuchowe, które zdaniem autorów (Kozłowski i in. 1988), gdy zawiodą inne zabezpieczenia, stanowią najbardziej skuteczną broń przed przenoszeniem fali wybuchu – jednym z najgroźniejszych zjawisk towarzyszących samemu wybuchowi. Jak pokazuje doświadczenie zaniedbanie na którymkolwiek etapie ochrony może być tragiczne w skutkach. Wiadomo bowiem, że pył węglowy jako naturalnie powstający podczas urobku produkt jest w kopalni wszechobecny. Przy tak dużych ilościach

nie można go skutecznie usuwać. Dla jego całkowitego unieruchomienia nie wystarczają też metody zraszania i opylania pyłem kamiennym. Przy metodzie past (pasty i proszki higroskopijne) w warunkach intensywnego osadzania się pyłu węglowego istnieje także okres, w którym pył nie jest jeszcze zabezpieczony przez związanie go i uczynienie nielotnym (Cybulski 1973). Tym samym niezależnie od starań załogi spełnienie wymagań przepisów bezpieczeństwa staje się praktycznie niemożliwe, ale zawsze należy ograniczać zasięg i skutki zaistniałego wybuchu. Liczne badania potwierdzają, że bardzo efektywne na tym etapie ochrony są zapory wodne lub z pyłu kamiennego, wykorzystujące do uruchomienia się zjawisko podmuchu wyprzedzającego płomień. Zauważono, że już nieznaczne zawartości pyłu wapiennego w pyłe wyrobiska przyczyniają się do widocznego obniżenia prędkości wybuchu. Dodatek około 40% pyłu kamiennego zmniejsza prędkość płomienia do 50–90% (Kozłowski i in. 1988). Przeprowadzono również badania skuteczności pyłu wapiennego na hamowanie wybuchów metanu. Doświadczenia realizowano przy stosowaniu mniejszej niż przepisowa ilości pyłu na zaporach, a uzyskano skrócenie długości płomienia wybuchu (20–50 m w zależności od umiejscowienia zapory oraz ilości pólek) w stosunku do długości bez zapor (w tych samych warunkach doświadczalnych), która wynosiła przeciętnie od 50 do 60 m. Udowodniono również, że zapory z pyłu kamiennego hamują rozwój wybuchu pyłu węglowego nawet, jeżeli znajdują się one w bezpośrednim sąsiedztwie zagazowanej strefy. Stwierdzono także, że ilość pyłu wapiennego na zaporze, uniemożliwiająca rozwój wybuchu pyłu węglowego pod wpływem inicjatora wybuchu metanu, może stanowić tylko 22,5–45% przepisowej ilości pyłu wymaganego dla pokładów niegazowych i gazowych (Cybulski 1953).

1.1. Wypełnienia zapor

Jako wypełnienie zapor stosuje się pojemniki z wodą oraz różne rodzaje pyłów kamiennych. Najpospolitsze są: pył wapienny oraz pył iłolupkowy. Oprócz nich stosowane były: pył gipsowy, dolomitowy, ziemia okrzemkowa oraz pył piaskowy. Pył iłolupkowy używany dawniej w kraju, a także w innych państwach został wycofany z użytku z uwagi na dużą zawartość szkodliwej krzemionki oraz pewną zawartość substancji palnych. Te ostatnie zwiększały ogólną sumę części palnych występujących w obłoku pyłowym (pył węglowy, pył kamienny), co pociągało za sobą konieczność stosowania większych ilości pyłu w celu zwiększenia zawartości części niepalnych w obłoku. Jeśli bowiem pył węglowy zawiera 20% części niepalnych (przeciętna ilość w wyrobisku), to na 1 kg takiego pyłu należy dodać około 700 g pyłu kamiennego, żeby zawartość części niepalnych wynosiła 70% (polskie przepisy wymagają do zabezpieczenia przed przenoszeniem wybuchu 70 lub 80% części niepalnych stałych w zależności od typu pokładu). Chcąc zwiększyć zawartość części niepalnych do 80% na jeden kg pyłu węglowego (20% części niepalnych), trzeba dodać aż 3 kg pyłu kamiennego, co znacznie zwiększa ciężar oraz obniża lotność warstwy pyłu na zaporze. Taka analiza jednoznacznie przemawia na korzyść pyłów wapiennych, które nie zawierają części palnych, lotność pyłu jest bowiem niezmiernie ważną właściwością, która decyduje o uruchomieniu się, lub nie, zapor.

1.2. Mechanizm hamowania wybuchu

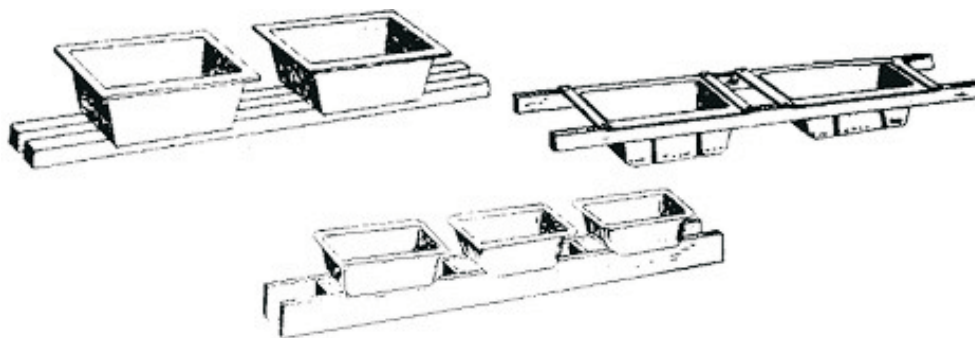
Jak już wspomniano, czynnikiem bezpośrednio uruchamiającym zapórę jest siła podmuchu. Rolę zapór sprowadza się do powstrzymania zainicjowanego wybuchu pyłu węglowego poprzez wytworzenie gęstego obłoku pyłu kamiennego. Powstały obłok powinien zająć cały przekrój chodnika oraz odpowiednio długą jego część (Cybulski 1973). Doświadczenia prowadzone w chodniku kopalnianym pozwoliły określić parametry zapór jak: ilość półek, ilość pyłu kamiennego, odległość rozstawu zapór. Każdy z tych parametrów ma określone znaczenie dla jakości powstałego obłoku pyłu i wpływa na jego gęstość. Większa ilość półek nie wiąże się z większą skutecznością zapory, dlatego dobrano ich optymalną ilość w liczbie od 5 do 7. Na każdej półce musi się znajdować określona ilość pyłu kamiennego. W Polsce wartość ta wynosi 400 kg/m^2 dla pokładów metanowych i 200 kg/m^2 dla pokładów niegazowych (Cybulski 1973). Najważniejsze jest jednak rozstawienie zapór, gdyż badając szybkość płomienia zauważono, że ten osiąga dużą prędkość dopiero po przebyciu pewnej drogi od miejsca inicjacji, dlatego odległość umieszczenia zapory z pyłem kamiennym powinna wynosić nie mniej niż 60 m (Cybulski 1973).

Biorąc pod uwagę wodę i pył kamienny efektywniejsze są zapory z pyłu. Zapory wodne (rys. 1) są rzadziej używane, co wynika z ich znacznie mniejszej skuteczności przy określonych warunkach wybuchu.

W trakcie badań doświadczalnych, w Kopalni Doświadczalnej Barbara wykazano bowiem, że rozrzut liczby półek wystarczających do zahamowania wybuchu z pyłu wapiennego był mniejszy, niż rozrzut liczby stosowanych zestawów pojemników z wodą (Cybulski 1973). Wyniki takie można tłumaczyć faktem, że nawet niewielki podmuch wybuchowy jest w stanie regularnie uruchamiać półki z pyłem kamiennym, a nie jest skuteczny w przypadku półek wodnych. Po uruchomieniu zapory raptownie wysypany w dużej ilości pył wapienny stawia podmuchowi bardzo silny opór bezwładny.

Przebieg procesu uruchamiania zapory przedstawiono na rysunku 2.

Pył wapienny może hamować przenoszenie fali wybuchu nie tylko w sposób fizyczny, na skutek jej zatrzymania na powstałym obłoku, ale również chemicznie. Pod wpływem



Rys. 1. Sposoby umieszczania pojemników z wodą (Cybulski 1973)

Fig. 1. Directions for water barriers construction (Cybulski 1973)



Rys. 2. Przebieg uruchamiania zapory z pyłem kamiennym (Cybulski 1973)

Fig. 2. Dust barrier activation process (Cybulski 1973)

temperatury płomienia będzie dochodzić do rozkładu wapienia na tlenek wapnia i ditlenek węgla.



Ta endotermiczna reakcja zużywa część energii płomienia, a powstały niepalny CO_2 również powoduje obniżenie wybuchowości układu. Tej właśnie reakcji badacze brytyjscy przypisują większą skuteczność hamowania wybuchu przez pył wapienny niż innym środkom (Cybulski 1953).

1.3. Wady pyłu wapiennego

Pył wapienny posiada jednak pewne wady. Najważniejsza to utrata lotności powodowana jego zbrylaniem się na skutek naturalnie występującej w kopalniach wilgoci (Kozłowski, Sobala 1970). W wilgotnym powietrzu kopalnianym, o wilgotności względnej zbliżonej do 100%, powierzchniowa warstwa pyłu kamiennego wyraźnie traci lotność, już po upływie około dwóch tygodni. Utrata lotności jest bardzo szybka, jeśli znajduje się on na wilgotnym podłożu. W takich warunkach pył pochłania wilgoć zarówno z podłoża, jak i powierzchnią wystawioną na działanie powietrza. Okazuje się, że do utraty lotności pyłu wystarczają niewielkie ilości zasorbowanej wody. Zjawisko to tłumaczy się działaniem wilgoci na powierzchni cząstek pyłu. W rezultacie pył zawierający stosunkowo niewielką ilość wilgoci np. 2%, robi wrażenie pyłu wilgotnego, ponieważ nie wykazuje lotności; nazywa się go pyłem martwym (Cybulski 1973). Zastosowanie pyłu kamiennego w wilgotnych strefach nastęrcza trudności praktyczne, ponieważ pył nasypany w tych wyrobiskach traci bardzo szybko lotność i staje się zupełnie nieskuteczny, co wymaga ponownego opylania. Podobnie zapory z pyłu kamiennego usytuowane w miejscach wilgotnych niejednokrotnie wymagają wymiany pyłu, nawet po upływie dwóch tygodni. Utrzymanie w tych warunkach właściwego zabezpieczenia przed wybuchem jest nie tylko kosztowne, ale również bardzo nieskuteczne.

1.4. Pył wodoodporny

Aby przeciwdziałać temu zjawisku, opracowano w Kopalni Doświadczalnej Barbara metodę wytwarzania pyłu wodoodpornego (PN-G-11020). Pył taki uzyskuje się w wyniku powlekania powierzchni zwykłego pyłu warstwą kwasu stearynowego. Typowym sposobem produkcji pyłu wodoodpornego jest dodawanie w odpowiednich ilościach kwasu stearynowego do młyna, w którym następuje rozdrabnianie kamienia wapiennego na pył. Wodoodporność pyłu wapiennego jak i innych pyłów kamiennych można osiągać przez dodanie w czasie mielenia niewielkich ilości różnych substancji hydrofobowych jak: stearyna, pak syntetyczny, kwasy łojowe. Substancje hydrofobowe pokrywają cienką warstwą cząstki pyłu i nie dopuszczają przez dłuższy czas do ich zawilgocenia. Pył wodoodporny wykazuje przez długi okres lotność w warunkach wysokiej wilgotności np. na zaporach zachowuje on dużą lotność po upływie trzech miesięcy. W stanie suchym pył wodoodporny ma większą lotność od pyłu wapiennego zwykłego. W masie jest bardziej luźny niż pył zwykły, bowiem odznacza się mniejszą kohezją.

Metoda hydrofobizacji stosowana od lat (dodatek stearyny do młyna) nie daje możliwości precyzyjnej kontroli zawartości kwasu stearynowego w końcowym produkcie (pył wodoodpornym). Tym samym otrzymywany pył może zbyt łatwo nasiąkać wodą, tracąc swoją lotność (zbyt mała zawartość stearyny) lub uzyskiwać zbyt dużą lotność (za duża zawartość stearyny) (PN-G-11020). W drugim przypadku pył może być usuwany z półek zapór w wyniku naturalnych ciągów powietrza występujących w kopalni, co jest zjawiskiem niekorzystnym. (Kozłowski, Sobala 1970). Inny problem pojawiający się podczas produkcji pyłu wodoodpornego związany jest z faktem, że pył wapienny stanowi jedynie niewielki udział w całkowitej produkcji kamieniołomów. Znaczna część produkcji (bardziej opłacalna finansowo), znajdująca zastosowanie w przemyśle budowlanym oraz jako adsorbent do neutralizacji tlenków siarki, nie może zawierać dodatku kwasu stearynowego. Tym samym nawet okresowe zanieczyszczanie młynów tą substancją nie jest korzystne. Coraz częściej w wyniku modernizacji przedsiębiorstw obrotowe młyny rurowe o starej konstrukcji zostają zastępowane nowoczesnymi młynami o bardziej złożonej budowie i wysokich wymaganiach eksploatacyjnych. Ich zanieczyszczanie kwasem stearynowym staje się więc praktycznie niedopuszczalne.

Podsumowanie

Próby zastąpienia pyłu innymi środkami były już uprzednio czynione (Lebecki 1993). Specyficzne zastosowanie wodoodpornego pyłu, związane z ochroną życia ludzkiego powoduje, że użycie innych materiałów pociąga za sobą konieczność wykonywania długotrwałych i kosztownych badań przydatności produktu w warunkach kopalni. W Niemczech użycie środków higroskopijnych dopuszczono już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. W Polsce pomimo, że badania nad opracowaniem własnych środków były prowadzone od połowy lat sześćdziesiątych to dopuszczenia ich do eksploatacji w latach dziewięć-

dziesiątych nie zrealizowano. Badania nad adaptacją pylistych substancji odpadowych (fosfogipsy, popioły lotne) jako środków inertyzujących nie doprowadziły do ich stosowania, pomimo spełnienia przez nie wielu wymagań dla takiego zastosowania. Pył wapienny jest jednym z najstarszych środków przeciwybuchowych stosowanych w górnictwie i według Lebeckiego pozostanie nim jeszcze przez długi czas (Lebecki 1993). Z tego też powodu istotne jest, aby zabezpieczyć się przed ewentualnym problemem zmniejszenia się liczby jego wytwórców, poszukując nowych metod jego wytwarzania. Na wstępnym etapie takich badań istotne jest dokładne poznanie roli i znaczenia pyłu wapiennego w systemie zabezpieczeń przeciwybuchowych. Wiedza taka jest niezbędna, aby w trakcie nowego sposobu wytwarzania otrzymywany produkt nie tracił którejkolwiek, ważnej dla jego użytkowania właściwości. W przypadku pyłu wapiennego najistotniejsze wydaje się, żeby produkt posiadał właściwości hydrofobowe. Te zaś między innymi będą wynikały z ilości kwasu stearynowego, jaka zostanie osadzona na pyłe, ale nie tylko. Analiza metod hydrofobizacji (Buczek, Vogt 2006) materiałów stałych pozwala przypuszczać, że na uzyskiwane właściwości wodoodporne bardzo duży wpływ ma technika prowadzenia procesu hydrofobizacji. Należy również pamiętać, że uzyskane właściwości hydrofobowe pyłu powinny utrzymywać się przez jak najdłuższy okres czasu. Kolejną ważną cechą użytkową pyłu jest lotność. Zapory winny być uruchamiane tylko w przypadku wybuchu. Zbyt duża lotność pyłu (bardzo drobne ziarna) będzie sprzyjała jego porywaniu z zapór przez naturalny ciąg powietrza wentylacyjnego w kopalni (Kozłowski, Sobala 1970). Pył bardzo drobny może wykazywać większą skłonność do aglomeracji. Wcześniejsza norma opisująca właściwości pyłu BN-65/6791-08 wymagała, aby ten nie zawierał więcej niż 10% frakcji ziarnowej poniżej 10 µm. W następnej edycji normy zapis ten pominięto, bo była to norma zakładowa, tworzona dla jedyne go wówczas producenta i warunki technologiczne zapewniały odpowiednie uziarnienie pyłu (Lebecki 1993). Dobór niewłaściwej metody hydrofobizacji może powodować nadmierne rozdrabnianie pyłu, a co za tym idzie zmieniać jego właściwości m.in. lotność. W czasach gospodarki wolnorynkowej nie należy również zapominać o ekonomicznych aspektach prowadzenia procesu. Koszty nowej metody produkcji, biorąc pod uwagę ilości zużywanego pyłu, powinny być na tyle niskie, aby nawet w najbardziej oszczędnych opcjach wydobywania nie powstała myśl o zmniejszeniu ilości zużywanego w kopalniach pyłu.

Praca finansowana przez MNiSW – projekt N524 036 32/3934.

LITERATURA

- Buczek B., Vogt E., 2006 – Hydrofobizacja pyłu wapiennego dla potrzeb górnictwa węglowego. *Ecological Chemistry and Engineering*, 13/S4, s. 391–398.
- Cybulski K., 2003 – Zarządzanie bezpieczeństwem pracy w górnictwie – część 4, Analiza zagrożenia wybuchem pyłu węglowego w rejonach ścian o wysokiej koncentracji wydobywania. *Wiadomości Górnicze*, 10, s. 466–476.

- Cybulski K., 2005 – Zagrożenie wybuchem pyłu węglowego oraz ocena skuteczności działań profilaktycznych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Prace GIG, 864, Katowice.
- Cybulski W., 1973 – Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie. Wyd. Śląsk, Katowice.
- Cybulski W., 1953 – Rola zapór z pyłu kamiennego przy wybuchach bardzo silnych pyłu węglowego, metanu oraz metanu i pyłu węglowego. Prace GIG, Seria A, komunikat 135, Katowice.
- Cybulski W., 1973 – Zapory rozstawne. Prace GIG, komunikat 577, Katowice.
- Field P., 1982 – Dust explosions. New York, Elsevier.
- Hirsch J.A., Wah D.A., Dorner L.F., Schildkraut I., Aggarwal A.K., Dastidar A.G., Amyotte P.R., Pegg M.J., 1997 – Factors influencing the suppression of coal dust explosions. Fuel, 76/7, s. 663–670.
- Kozłowski B., Myszor H., Sobala J., 1988 – Wybuchy w kopalniach. Skrypty uczelniane nr 1362, Gliwice.
- Kozłowski B., Sobala J., 1970 – Walka z pyłem węglowym w kopalniach węgla kamiennego. Wyd. Śląsk, Katowice.
- Lebecki K., 1993 – Neutralizacja osiadłego pyłu węglowego jako zabezpieczenie przed przeniesieniem wybuchu. Prace Naukowe GIG, 784, s. 15–38.
- Polska Norma PN-G-11020, Pył kamienny przeciwwybuchowy.
- Wolański P., 1992 – Dust explosion research in Poland. Pow. Tech. 71, s. 197–206.

ELŻBIETA VOGT, BRONISŁAW BUCZEK

FUNCTION AND MEANING OF LIMESTONE DUST IN PROTECTION SYSTEM AGAINST EXPLOSION AT COAL MINES

Key words

Limestone dust, dust barrier, coal dust

Abstract

Industrial accidents, which have taken place recently at coal mining show that in spite of many operations ensuring safety, the menace of life and occurrence of losses caused by explosions is still possible. In many works one can read that the dust (water-proof hydrophobized limestone dust) barriers very effectively interrupt the flame propagation. Such limestone dust has been produced by coating regular dust with stearic acid during grinding in stone mills. In the consequence of modernization of quarries the quantity of possible producers of such dust could be reduced. For this reason new methods of manufacture of water-proof dust should be searched. In preliminary studies it is necessary to obtain the knowledge of the function and meaning of limestone dust in protection system against explosion at coal mine. Limestone dust must have hydrophobic properties. These are the consequence of quantity of stearic acid coated on dust particles and of used hydrophobisation method. Waterproof properties of dust should be kept for a long time. Hydrophobized limestone dust must be featured by certain floatage and must be cheap.