ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1967
Seria: GÓRNICTWO z. 27 Nr kol. 193

Mgr inż. JÓZEF SUŁKOWSKI
Katedra Aerologii Górniczej
Politechnika Śląska

# WPŁYW PRĘDKOŚCI PRĄDU POWIETRZA NA ZAPYLENIE POWIETRZA W ŚCIANIE

## 1. Wstęp

Mechanizacja pracy w kopalniach, a zwłaszcza wprowadzenie maszyn urabiających węgiel w sposób ciągły, powoduje wzrost zapylenia powietrza kopalnianego, zmniejszając znacznie komfort pracy, zwiększając tym samym zagrożenie dla zdrowia. Jednym ze środków zwalczania tego zagrożenia powinno być prawidłowe przewietrzanie wyrobisk. Jest rzeczą znaną, że zwiększenie ilości powietrza, dopływającego do przodka ścianowego prowadzi do obniżenia w nim zapylenia poprzez rozrzedzenie koncentracji pyłu w powietrzu.

Wzrost ilości powietrza w wyrobisku można osiągnąć bądź to zwiększając prędkość jego przepływu przy stałej wielkości przekroju poprzecznego, bądź też zwiększając przekrój wyrobiska z zachowaniem tej samej prędkości przepływu powietrza. Ewentualna trzecia możliwość poprzez zwiększenie prędkości i przekroju nie wnosi już nic nowego do rozważań. W praktyce wielkości przekrojów wyrobisk górniczych są prawie stałe, toteż dodatkową ilość powietrza otrzymuje się zwiększając jego prędkość przepływu. Dla określenia optymalnych warunków przewietrzania ścian z uwagi na zapylenie powietrza, wystarczy zbadać wpływ powietrza na jego zapylenie.

Wzrost prędkości powietrza, a więc i jego ilości w przodku, powoduje nie tylko rozrzedzenie koncentracji pyłu w przodku, ale także dodatkowe jego wynoszenie od źródła zapylania i wtórne wzbijanie pyłu już osadzonego na spągu i obudowie. W zależności od tego, które zjawisko w miarę wzrostu prędkości prądu

powietrza będzie przeważało, zapylenie powietrza jako efekt tych zjawisk będzie zmniejszało się lub powiększało.

Zależność między zapyleniem a prędkością powietrza można przedstawić za pomocą krzywej, mającej minimum przy pewnej prędkości powietrza. Prędkość tę w literaturze górniczej nazwano optymalną ze względu na zapylenie powietrza. Za minimalną potrzebną prędkość powietrza uznano taką, poniżej której zaczyna się szybki wzrost zapylenia. Odpowiednio, za maksymalną dopuszczalną prędkość przyjęto taką prędkość, przy której zapylenie osiąga wartość odpowiadającą wartości zapylenia przy prędkości minimalnej.

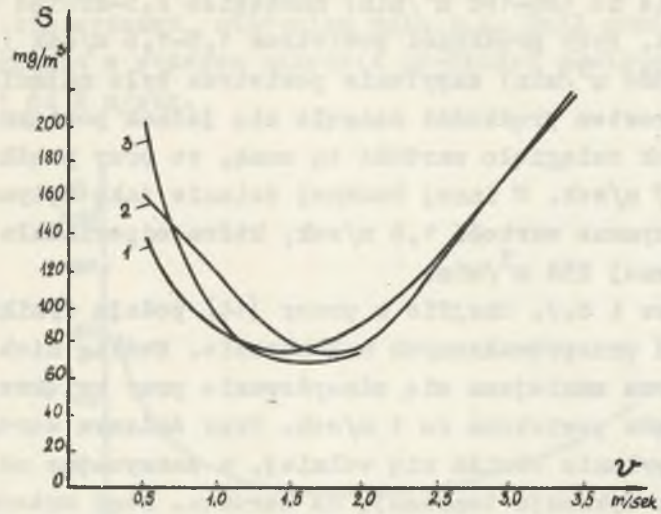
## 2. Ogólny charakter zależności między stężeniem zapylenia powietrza a prędkością jego przepływu

Za granicą przeprowadzono dotąd wiele badań, zarówno w kopalniach jak i w laboratoriach, w celu dokładnego określenia tej zależności. Pomiarów stężenia zapylenia powietrza dokonywano przyrządami, które w zasadzie nie dają wyników porównywalnych. Stąd wyniki tych badań należy rozpatrywać oddzielnie.

### 2.1. Wyniki osiągnięte przy grawimetrycznym określaniu stężenia zapylenia

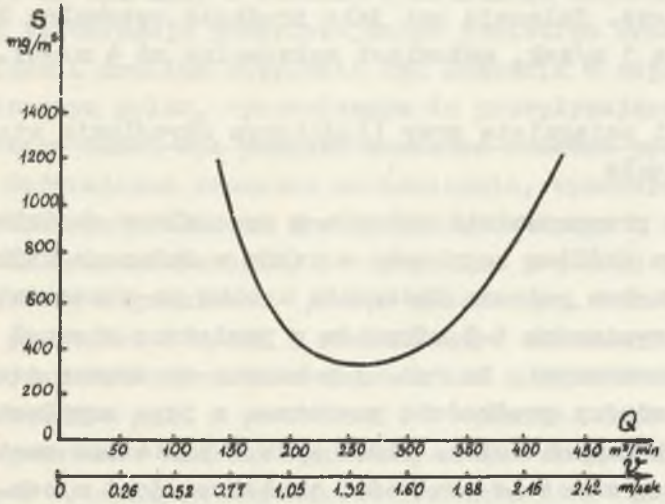
N.J. Gołuzin podaje w pracy [6] wyniki badań w trzech ścianach basenu czelabińskiego. Zapylenie powietrza we wszystkich przypadkach (rys. 1) obniżało się ze zwiększeniem prędkości prądu powietrza w ścianie do wartości 1,5 m/sek. Tej prędkości odpowiadała więc minimalna wartość zapylenia. Podwyższenie prędkości do 2 m/sek spowodowało wzrost zapylenia o 25% w stosunku do zapylenia minimalnego a przy 3-3,5 m/sek wzrost ten był znacznie większy. Zdaniem Gałuzina zakres prędkości 1,3-1,8 m/sek należy uznać za najbardziej korzystny ze względu na zapylenie powietrza.

Z badań Szczipkowa [13], przeprowadzonych w kopalniach Karagandy wynika (rys. 2), że przy podwyższeniu prędkości powietrza na 1 m/sek (odpowiadającej zwiększeniu ilości powie-




Rys. 1. Zależność zapylenia powietrza od prędkości prądu powietrza w ścianach basenu czelabińskiego

1,2 – w czasie pracy wrębiarek bez zraszania, 3 – w czasie pracy kombajnu "Donbass" ze zraszaniem




Rys. 2. Zmiana zapylenia powietrza kopalnianego w zależności od prędkości i ilości powietrza na kop. im. Kirowa

trza w ścianie do 180–190 $m^3$/min) nastąpiło 2,5-krotne obniżenie zapylenia. Przy prędkości powietrza 1,5–1,6 m/sek (odpowiednio 280–300 $m^3$/min) zapylenie powietrza było najmniejsze. Z dalszym wzrostem prędkości zaczęło się jednak powiększać i przy 2,2 m/sek osiągnęło wartość tą samą, co przy prędkości powietrza 0,7 m/sek. W innej badanej ścianie jako optymalną prędkość otrzymano wartość 1,8 m/sek, która odpowiadała ilości powietrza równej 250 $m^3$/min.

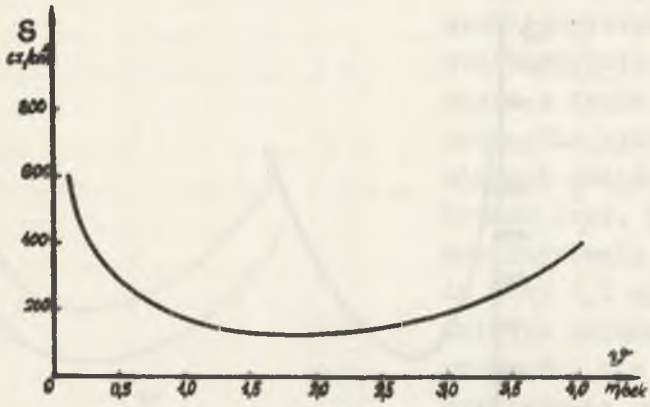
A.P. Zajcew i S.J. Chejfic w pracy [14] podają wyniki podobnych badań przeprowadzonych w Donbassie. Według nich zapylenie powietrza zmniejsza się zdecydowanie przy zwiększeniu prędkości prądu powietrza do 1 m/sek. Przy dalszym wzroście do 1,5 m/sek zapylenie obniża się wolniej, a zaczynając od prędkości 2 m/sek wykazuje tendencję do wzrostu. Stąd autorzy określają minimalną prędkość prądu powietrza jako równą 1 m/sek a maksymalną 2 m/sek. Podobnie T.K. Jefrenowa i I.P. Ilina podają [12] jako optymalną prędkość 1,2–1,6 m/sek, minimalną 0,8–1 m/sek a maksymalną 2 m/sek, uznając tę ostatnią za prędkość krytyczną dla wzbijania osadzonego wcześniej pyłu.

Znacznie szerszy zakres prędkości podają S.J. Chejfic i A.S. Burczakow [3] w oparciu o wyniki statystyczne z kopalń i badania modelowe. Zalecają oni jako prędkość optymalną 2 m/sek, jako minimalną 1 m/sek, natomiast maksymalną aż 4 m/sek.

### 2.2. Wyniki osiągnięte przy ilościowym określaniu stężenia zapylenia

D.A. Hall [9] przeprowadził badania w specjalnym chodniku z zainstalowanym źródłem zapylenia a także w ścianach kilku kopalń okręgu Durham podczas ładowania urobku na przenośnik. Stężenie pyłu o wymiarach 1–5 mikronów w powietrzu mierzył precipitatorami termicznymi. Na rys. 3 pokazano otrzymaną przez niego zależność między prędkością powietrza a jego zapyleniem dla jednej grupy badanych ścian. Ilość pyłu w powietrzu zmniejsza się szybko przy wzroście prędkości powietrza do 1 m/sek. Przy prędkościach 1–3 m/sek ilość pyłu jest prawie stała. Dalszy wzrost prędkości powietrza powoduje jednak znowu wyraźny wzrost

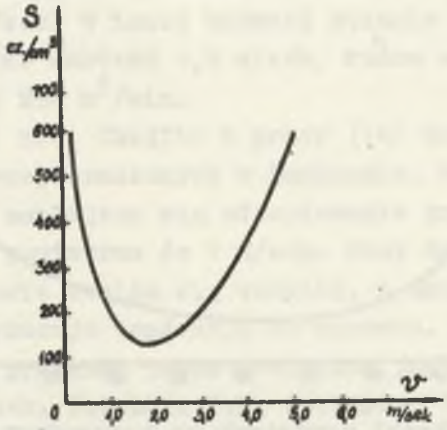
jego zapylenia. W drugiej grupie badanych ścian, charakteryzującej się wyższym stężeniem pyłu D.A. Hall stwierdził minimum zapylenia w węższym zakresie prędkości powietrza, mianowicie od 1 do 2 m/sek.




Rys. 3. Wpływ prędkości powietrza na koncentrację pyłu w powietrzu (wg Halla)

J.R. Hodkinson [11] przystosował do tego samego rodzaju eksperymentów tunel powietrzny o przekroju 0,93 $m^2$ i długości około 30 m, wykonany z betonu. Konstrukcja zapewniała odpowiednią turbulencję przepływającego powietrza oraz regulację jego ilości. Źródłem zapylenia był dozownik z odpowiednio przygotowanym pyłem, wprowadzanym do przepływającego powietrza. Oprócz tego tunel był pokryty wewnątrz osadami pyłu, który w czasie doświadczeń zruszono mechanicznie, symulując w ten sposób warunki naturalne. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów J.R. Hodkinson stwierdził, że optymalna prędkość powietrza znajduje się w granicach 1,5–2,0 m/sek (rys. 4). Przy przekroczeniu prędkości 2 m/sek i mechanicznym zaburzeniu osadów pyłu szybciej wzrasta unoszenie cząstek niż rozrzedzenie, wobec czego stężenie pyłu w powietrzu też wzrasta. Także H. Breuer [1] na podstawie analizy wyników pomiarów zapylenia, przeprowadzonych w czynnych kopalniach stwierdza, że optymalna prędkość powietrza mieści się w granicach 1,2–1,4 m/sek, co odpowiada przeciętnie 340–400 $m^3$/min powietrza dopływającego do

ścian. F.B. Hinsley podaje w pracy [10], że przy prędkościach powietrza powyżej 3 m/sek występuje już silne unoszenie grubszego pyłu, dlatego zalecane przez niego prędkości powietrza wynoszą 0,5–3 m/sek.




Rys. 4. Koncentracja pyłu w powietrzu w zależności od prędkości jego przepływu (wg Hodkinsona)

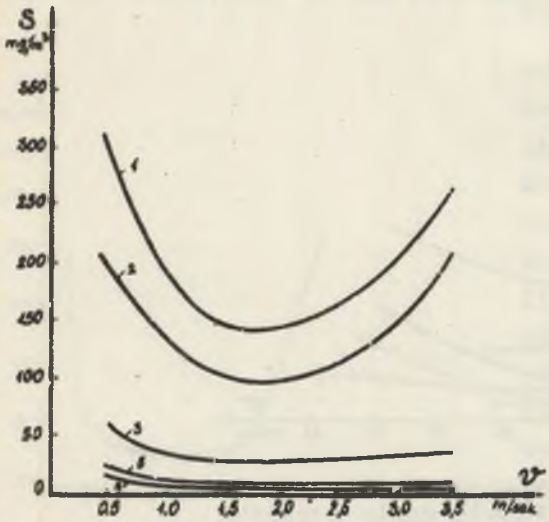
## 3. Wpływ niektórych czynników na zależność między zapyleniem powietrza a prędkością jego przepływu

Na rozrzedzenie koncentracji pyłu w powietrzu i na jego wtórne unoszenie wpływają oprócz prędkości powietrza także i inne czynniki charakteryzujące wyrobisko, pył lub powietrze - chociaż w mniejszym stopniu. One są jednak powodem, że nie wszyscy autorzy, którzy przeprowadzili badania nad zależnością między zapyleniem powietrza a jego prędkością otrzymali takie same wyniki mimo że przebieg zależności był podobny.

Czynnikami tymi są głównie:

- wymiar ziarn pyłu
- intensywność źródła zapylenia
- wielkość początkowego stężenia pyłu w powietrzu
- nachylenie wyrobiska
- rodzaj wentylacji (schodząca, wznosząca).

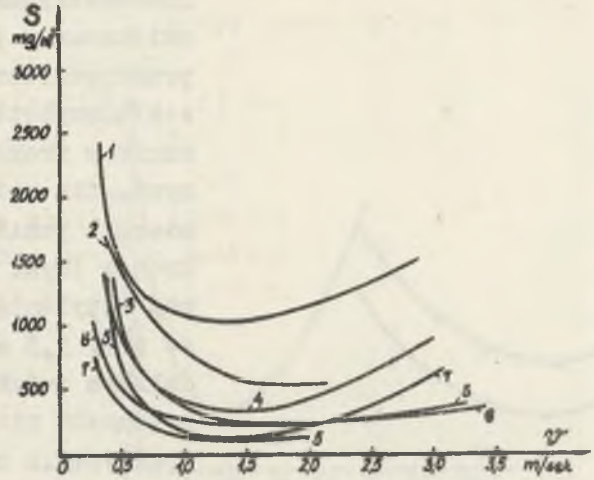
I tak np. N.I. Gołuzin [8] badając wpływ prędkości powietrza na obecność w nim różnych frakcji pyłu otrzymał dosyć ciekawe zależności. Stężenie większych frakcji pyłu (mierzone grawimetrycznie) przy zwiększaniu prędkości prądu powietrza wzrastało szybciej w porównaniu z frakcjami drobnymi. Dla pyłu o rozmiarach poniżej 5 mikronów (rys. 5) minimum zapylenia osiągnięte przy 1,5 m/sek przy dalszym zwiększaniu prędkości nie ulega praktycznie zmianie. Wzrost zapylenia przy większych prędkościach powodują dopiero ziarna o większych rozmiarach. Nie można jednak z powyższych badań wyciągnąć wniosku, że przekroczenie optymalnej prędkości nie będzie powodowało wzrostu zagrożenia ponieważ nie zwiększa się udział pyłu szkodliwego dla zdrowia (do 5 mikronów). Nie zwiększa się tu bowiem wyraźnie udział ciężarowy. Ilościowo zaś, co nas bardziej interesuje dla określenia zagrożenia, wzrost mógł nastąpić jednakowo we wszystkich frakcjach. Wyraźny wpływ na charakter zmiany zapylenia powietrza przy wzroście jego prędkości ma intensywność wytwarzania pyłu przez źródło zapylenia, zależy ona od rodzaju wykonywanej czynności w ścianie, stosowanej maszyny, skuteczności zraszania, czy iniekcji wody do pokładu, wilgotności naturalnej węgla, stanu organów urabiających maszyn itp.




Rys. 5. Zależność zapylenia powietrza przy kombajnie od prędkości prądu powietrza (wg Gołuzina)

1 – wszystkie frakcje pyłu, 2 – frakcja powyżej 10, 3 – frakcja 5–10, 4 – frakcja 2–5, 5 – frakcja poniżej 2 mikronów

Na rys. 6 pokazano przykładowo zmianę zapylenia powietrza w zależności od prędkości powietrza w ścianach Donbassu przy wykonywaniu różnych czynności w ścianie (3).

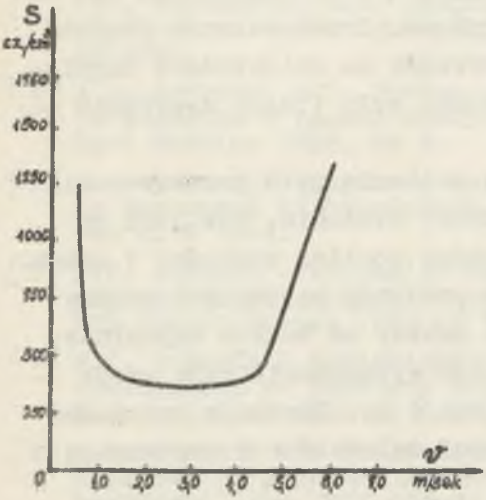



Rys. 6. Zależność zapylenia powietrza od prędkości jego przepływu w ścianach kopalń węgla Donbassu

1 - w czasie pracy kombajnu Donbass bez zraszania, 2 - w czasie pracy wrębiarki bez zraszania, 3 - w czasie pracy kombajnu Donbass ze zraszaniem, 4 - w czasie ładowania węgla bez zraszania, 5 - w czasie pracy wrębiarki ze zraszaniem, 6 - w czasie urabiania młotkami bez zraszania, 7 - w czasie ładowania węgla ze zraszaniem

W przytoczonej wcześniej pracy [11] J.R. Hodkinson podaje też wyniki innych ciekawych badań nad zależnością "prędkość powietrza - zapylenie", przeprowadzonych w tunelu powietrznym. Na rys. 7 pokazano otrzymaną przez niego zależność przy przepływie czystego powietrza nad powierzchnią pokrytą osadami pyłu, burzonymi mechanicznie. Rys. 4 przedstawia tą samą zależność ale przy przepływie powietrza wstępnie zapylonego. Różnica w koncentracjach pyłu w powietrzu i wartościach prędkości optymalnych jest tu wyraźna. Hodkinson tłumaczy ją uderzeniem cząsteczek pyłu zawartych w powietrzu o cząsteczki pyłu osadzonego, co powoduje unoszenie większych ich ilości niż to ma miejsce przy przepływie powietrza niezapylonego. Widzimy że ist-

nieje więc pewien wpływ początkowego stężenia pyłu w powietrzu na przebieg omawianej zależności. J.R. Hodkinson badał także wpływ szorstkości ścian tunelu na zmianę zapylenia powietrza ale nie stwierdził tu jej istotnego wpływu.




Rys. 7. Stężenie pyłu w powietrzu przy mechanicznym zraszaniu osadów pyłu (wg Hodkinsona)

M.A. Frołow i A.W. Artiemow [4] poszukiwali optymalnej prędkości ruchu powietrza ze względu na zapylenie w ścianach pokładów stromych. Bodźcem do tych badań była zaobserwowana zwiększona liczba zachorowań na pylicę górników, pracujących w tych pokładach. W wyniku poczynionych obserwacji doszli do wniosku, że najkorzystniejsza prędkość powietrza mieści się w granicach od 0,9 do 1,25 m/sek z tym, że najwyraźniejszy wpływ prędkości powietrza na jego zapylenie występuje w dolnej części ściany. Wyniki tych badań wskazują więc na obniżenie się zakresu prędkości optymalnych w przypadku pokładów silnie nachylonych. Mniejszy prawdopodobnie wpływ na omawianą zależność będą miały: turbulentność prądu powietrza, związana m.in. z przekrojem ściany oraz rodzaj wentylacji. Niewątpliwie im większa jest turbulentność prądu, tym intensywniejsze będzie porywanie cząsteczek pyłu ze spągu, ociosu i obudowy. Jeśli chodzi o rodzaj wentylacji, to liczni badacze stwierdzili, że zapylenie przy wentylacji schodzącej jest dużo mniejsze niż przy wznoszącej, co powinno wpłynąć na zależność między prędkością powietrza a jego zapyleniem. Nie wykluczony jest też wpływ na powyższą zależność temperatury, wilgotności a nawet zjonizowania powietrza.

## 4. Wnioski

Za najkorzystniejszą prędkość prądu powietrza w ścianie można uważać prędkość równą około 1,5 m/sek, przy niej bowiem stężenie pyłu będzie najmniejsze. Obniżenie prędkości powietrza do 1 m/sek i zwiększenie do 2 m/sek nie powoduje wyraźnego wzrostu zapylenia powietrza wobec czego prędkości te uznaje się za graniczne z uwagi na zagrożenie pyłowe. Przekroczenie prędkości 2 m/sek nie wpływa w sposób wyraźny na zwiększenie zapylenia najbardziej szkodliwymi frakcjami pyłu (jeśli zapylenie to określamy grawimetrycznie).

Przy ilościowym zaś określeniu stężenia pyłu przekroczenie prędkości optymalnych powoduje wzrost stężenia, ale jest on mniejszy niż przy obniżeniu prędkości poniżej wartości 1 m/sek. Zakres prędkości optymalnych oraz przebieg zależności między prędkością a zapyleniem powietrza zależy od takich czynników, jak: wymiar ziarn pyłu, intensywność wytwarzania pyłu przez źródła zapylenia, nachylenie pokładu i in. Powodują one pewne zmiany w przebiegu krzywej omawianej zależności i przesuwają zakres prędkości optymalnych.

W kopalniach polskich istnieją duże możliwości zmniejszenia zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia poprzez właściwą wentylację. Istniejące prędkości powietrza przeciętnie nie są duże. Jak podaje A. Frycz w pracy [5] na 45 przebadanych ścian 19 (a więc stanowiących 42%) prędkość powietrza wynosiła poniżej 0,5 m/sek, a w 41 ścianach (91%) prędkość kształtowała się poniżej 1 m/sek. Wzrost ilości a więc i prędkości powietrza w ścianach, a tym samym mniejszą koncentrację pyłu - można osiągnąć przez zainstalowanie wentylatorów o większej wydajności, ograniczenie ucieczek powietrza oraz niekiedy przez zmniejszenie oporów wyrobisk.

W warunkach polskich kopalń największe możliwości istnieją w ograniczeniu ucieczek powietrza.

LITERATURA

[1] H. Breuer - Das betriebliche Staubmessverfahren im Steinkohlenbergbau. Ergebnisse von Sondermessungen. Glückauf 1958, nr 49/50.

[2] A.A. Burczakow, E.M. Moskalenko - Dinamika aerozolej w gornych wyrabotkach. Moskwa 1965. Nauka.

[3] A.S. Burczakow, S.J. Chejfic - Sniżenije zapylennosti wozducha w ławach ugolnych szacht. Moskwa 1958. Ugletiechizdat.

[4] A.W. Artimow, M.A. Frołow - Opitalnyje skorosti dwiżenija wozducha w ławach krutych płastow po pylewomu faktoru. Ugol Ukrainy 1965, nr 9.

[5] A. Frycz - Intensywność przewietrzania ścian prowadzonych na znacznych głębokościach. Zesz. Nauk. Pol. Śl. Górnictwo z. 8 1964.

[6] N.I. Gołuzin - Wlijanije skorosti wientiliacjonnoj strui na zapylennost czelabinskogo ugolnogo bassiejna. Izw. WUZ Gornyj Żurnał 1958 nr 10.

[7] N.I. Gołuzin - Izmienienije koncentracji frakcji pyli w zawisimosti ot skorosti strui wozducha w ławie. Izw. WUZ Gornyj Żurnał 1962 nr 6.

[8] N.I. Gołuzin - O koliczestwie wozducha dla prowietriwanija ław po pylewomu faktoru w usłowijach czelabinskogo bassiejna. Izw. WUZ Gornyj Żurnał 1962 nr 5.

[9] D.A. Hall - Factors affecting airborne dust concentrations with special reference to the effect of wentilation. Trans. Inst. Min. Engrs t. 115, 1956, nr 4.

[10] F.B. Hinsley - Design of wentilation systems of new mines. Colliery Guardian Vol. 199 nr 5144.

[11] J.R. Hodkinson - The relation between wentilation airspeed and respirable airborne dust concentration coalmines. Colliery Engng Vol. 37, 1960, nr 436.

[12] T.K. Jefromowa, J.P. Ilina - Wientilacja kak sriedstwo borby s pyliu w zabojach ugolnych szacht. Bezopasnost truda w promyszlennosti 1963, nr 3.

[13] Szczipkow - Wlijanije paramietrow wientilacjonnoj strui na zapylennost wozducha w ławach ugolnych szacht Karagandy. Izw. WUZ Gornyj Żurnał 1960, nr 10.

[14] A.P. Zajcew, S.J. Chejfic - Wlijanije skorosti wozdusznoj strui na zapylennost wozducha w ławie. Ugol 1957 nr 9.