

Prof. dr hab. inż. Wacław Cybulski
Katedra Pyłów i Gazów Kopalnianych

BADANIA NAD URUCHAMIANIEM ZAPÓR Z PYŁU KAMIENNEGO
ORAZ ZAPÓR WODNYCH POD WPŁYWEM CIŚNIEN DYNAMICZNYCH
WYWOŁANYCH WYBUCEM METANU

Streszczenie: W pracy opisano badania nad przebiegiem uruchamiania różnych typów zapór przy pomocy specjalnej kamery filmowej. Zbadano również minimalne ciśnienia dynamiczne uruchamiające zaporę. Badania te pozwalają na przeprowadzenie porównań możliwej skuteczności różnych typów zapór w warunkach słabych wybuchów.

1. Cel pracy

Podczas wybuchu pyłu węglowego odcinek czasu między dojściem czoła podmuchu i czoła płomienia do zapory może być bardzo krótki. Czas ten zwany czasem uruchomienia zapory wahać się może od wartości zbliżonej do zera do kilku sekund w zależności od charakterystyki wybuchu i miejsca ustawienia zapory. Zgodnie z tym ruch poszczególnych elementów zapory w tych krótkich okresach czasu jest bardzo ważny dla jej skuteczności. W szczególności odgrywa to bardzo wielką rolę przy wybuchach słabszych.

1.2. Zgodnie z powyższym celem pracy było zasadniczo zbadać ruch poszczególnych elementów zapór w warunkach słabych wybuchów. Dla porównania wykonano również pewne badania w warunkach wybuchów silnych.

1.3. Przy wybuchach silnych zapory są oczywiście łatwo uruchamiane. Natomiast przy wybuchach słabych może zachodzić obawa, że zapory nie będą uruchomione w sposób właściwy lub w ogóle nie będą uruchomione. Dlatego też dalszym celem pracy było znalezienie minimalnych ciśnień dynamicznych uruchamiających zapory.

Badania te natrafiały na poważne trudności eksperymentalne. W niniejszym komunikacie ograniczono się tylko do podania wyników tych badań.

2. Warunki badań

2.1. Badania wykonano stosując zapory z pyłu kamiennego typu Kopalni Doświadczalnej Barbara, zapory typu Dortmund oraz zapory wodne typu KD Barbara z polistyrenu z dodatkiem kauczuku.

Przez zapory rozumie się w dalszym ciągu podstawowe ich elementy tj. półki względnie pojemniki.

2.2. Badania wykonywano ustawiając zapory przed sztolnią doświadczalną lub w sztolni doświadczalnej. Sztolnia ma długość 44 m i średnicę 2 m. Podmuch wybuchu uruchamiający zapórę realizowano przy pomocy wybuchu metanu w komorze sztolni pojemności 10 m³ lub 20 m³. Ciśnienie dynamiczne wybuchu regulowano zmieniając stężenie metanu oraz punkt jego zapłonu. Większość badań wykonano w warunkach słabych wybuchów. Wykonano jednak również doświadczenia stosując wybuchy silne. Z braku miejsca nie podano opisu stosowanej metody pomiaru ciśnień dynamicznych.

2.3. Do zdjęć ruchu elementów zapór stosowano kamerę Pentaxer 35 mm. Stosowano częstotliwość zdjęć 250 na sekundę - jako wystarczającą. Przeciętnie przy jednym doświadczeniu otrzymywano ok. 500 zdjęć obrazujących uruchamianie zapór.

Łącznie w czasie badań wykonano 91 zdjęć filmowych oraz 143 pomiary ciśnień dynamicznych.

2.4. W toku badań określano następujące momenty ruchu elementów półek: dojście czoła podmuchu do zapory, początek ruchu deszczulek pomostu, drabinki, kolejnych warstw pyłu wapiennego oraz całkowite uruchomienie zapory. W rezultacie mierzono każdorazowo całkowity czas uruchomienia półki.

Opis technicznego wykonania tych pomiarów pominięto z uwagi na brak miejsca.

2.5. Pojemniki wodne były sztywno przymocowywane do stropnicy. W ten sposób uwzględniano zasadę działania zapór wodnych polegającą na tym, że pod wpływem podmuchu wybuchu pojemniki ulegają zniszczeniu, w trakcie czego woda zostaje z nich wylana i rozpraszana przez podmuch. Przy badaniu zapór wodnych oznaczano początek uszkodzenia pojemnika oraz moment całkowitego zadziałania pojemnika. W rezultacie znajdowano również całkowity czas zadziałania pojemnika.

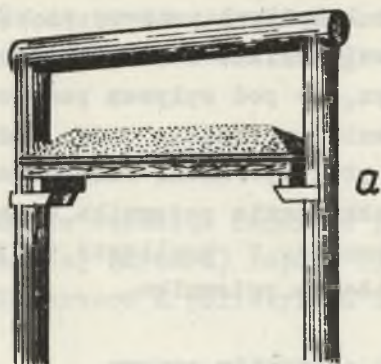
3. Wyniki badań ruchu elementów zapory

3.1. W opisanych warunkach można było wyraźnie wyodrębnić ruch poszczególnych elementów zapory oraz określić czas ich uruchamiania.

Dojście podmuchu do zapory z pyłu wapiennego powoduje wznieśnienie tylko powierzchniowej warstwy pyłu wapiennego. Wzrokowo może to robić wrażenie, że duża ilość pyłu wapiennego jest w ten sposób uniesiona. Tak jednak nie jest. Badania momentu uruchamiania warstw pyłu wapiennego na głębokości 1, 2 i 3 cm od wierzchołka nasypu wykazały, że ruch tych warstw zaczynał się przeważnie około 100 ms po momencie gdy deszczulki zaczęły być podnoszone. Wprawdzie odnośne odstępy czasu wahały się w dość szerokich granicach zależnie od siły podmuchu, jednakże różnice w czasie pomiędzy ruchem poszczególnych warstw pyłu wapiennego były nieznaczne.

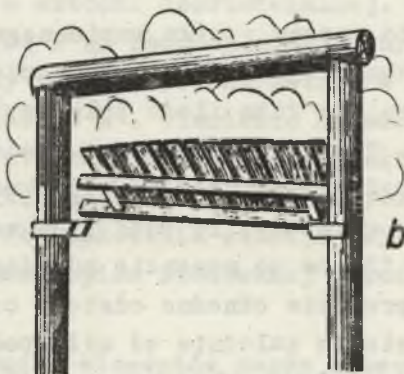
3.2. Badania wykazały wyraźnie, że rozproszenie głównej masy pyłu wapiennego następuje na skutek uruchomienia poszczególnych elementów zapory, tj. przede wszystkim deszczulek stanowiących pomost półki. Jest to stwierdzenie bardzo ważne, ponieważ dotyczy istoty działania zapór z pyłu wapiennego oraz poza tym nie pokrywa się z obserwacjami badaczy niemieckich, z Kopalni Doświadczalnej Tremonia.

Ci ostatni podczas bytności na Kop. Dośw. Barbara w roku ubiegłym, podawali, że według ich doświadczeń wprzód cały pył wapienny zostaje uniesiony z pomostu przez podmuch wybuchu a dopiero potem zostają uruchomione elementy półki.



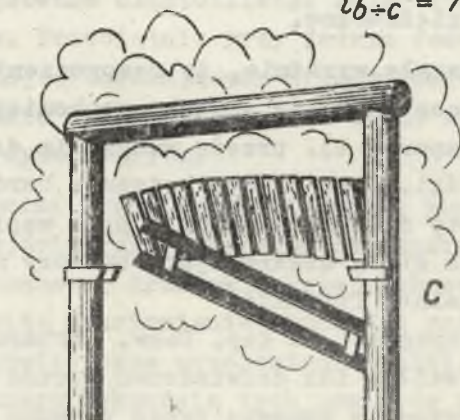
a

$$t_{a \div b} = 381,5 \text{ ms}$$



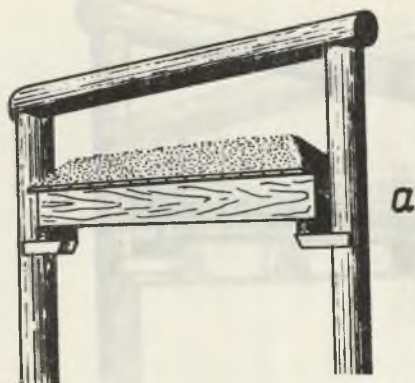
b

$$t_{b \div c} = 74,8 \text{ ms}$$



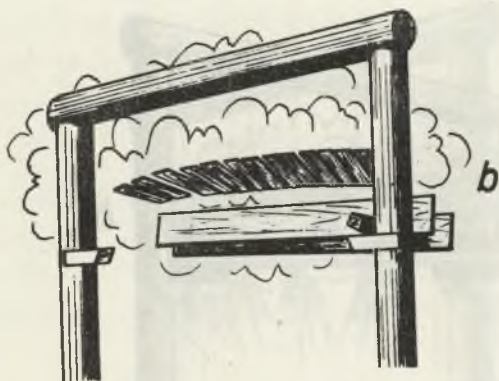
c

Rys. 1. Przebieg uruchomienia zapory z pyłu wapiennego K.D.
Barbara, 200x50x10 cm



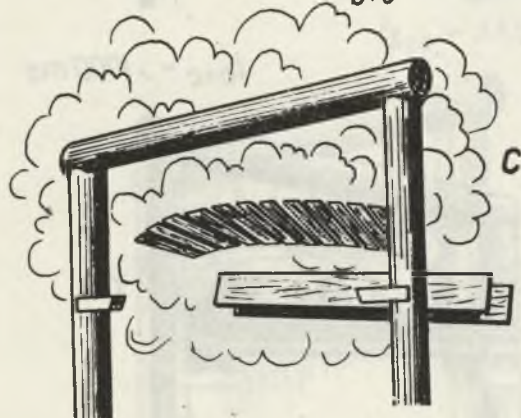
a

$$\div b = 262,6ms$$



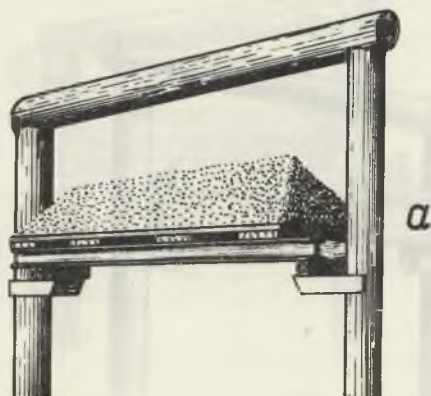
b

$$t_{b\div c} = 34,1ms$$



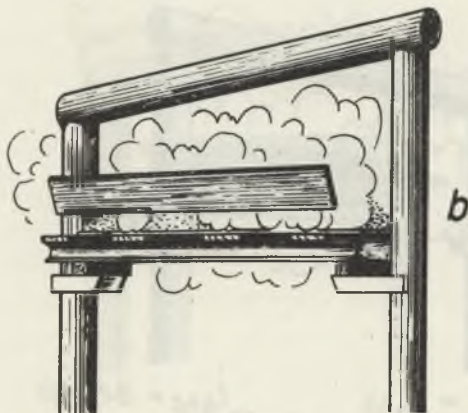
c

Rys. 2. Przebieg uruchomienia zapory z pyłu wapiennego K.D.
Barbara, 200x35x20 cm



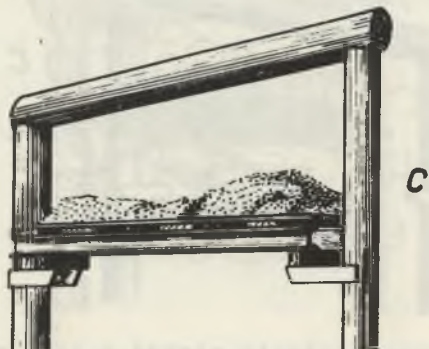
a

$$t_{a+b} = 317,7 \text{ ms}$$



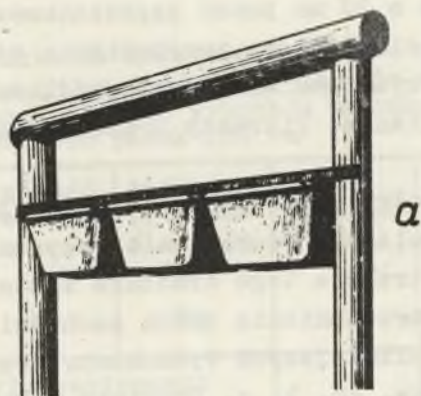
b

$$t_{b+c} = > 1000 \text{ ms}$$

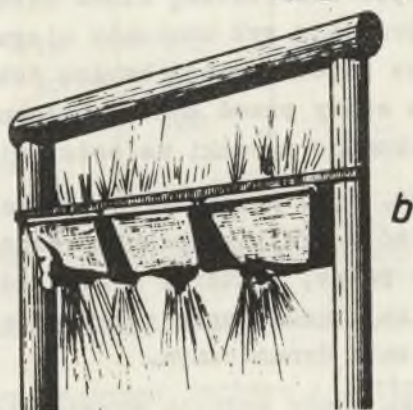


c

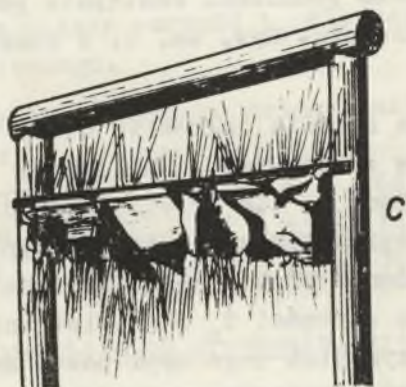
Rys. 3. Przebieg uruchomienia zapory z pyłu wapiennego Dortmund, 200x60 cm



$$t_{a+b} = 33,9 \text{ ms}$$



$$t_{b+c} = 33,9 \text{ ms}$$



Rys. 4. Przebieg uruchomienia zapory wodnej z pojemników z polistyrenu K.D. Barbara, 60x33x28 cm

3.3. Badania wykazały, że w większości przypadków drabinka była uruchamiana o 30 ms przed zapoczątkowaniem podnoszenia deszczulek. Zdjęcia filmowe uruchamiania półek typu KD Barbara pozwalają na wyodrębnienie w szczególności dwóch różnych sposobów uruchamiania. Pierwszy przedstawiony jest na rys. 1a, b, c.

Jak widać deszczulki przewracane są aż do pozycji niemal pionowej, w której ulegają rozrzuceniu rozpraszając oczywiście pył wapienny. W trakcie tego drabinka zostaje zrzucona.

Drugi rodzaj uruchamiania półek zachodzi przy wyższej drabince oraz przy silniejszych wybuchach. Przebieg tego ruchu podany jest na rys. 2a, b, c. Drabinka zostaje wyrzucona przez podmuch wybuchu spod deszczulek, które unoszone w pozycji niemal poziomej rozpraszają pył kamienny ulegając rozsunięciu.

Zdjęcia filmowe przedstawiają bardzo dobrze ruch elementów zapór. Niestety z obawy przed zniekształceniem zdjęć w druku z konieczności wykonano rysunki na podstawie zdjęć filmowych.

3.4. Na rys. 3a, b, c przedstawiono uruchamianie półek typu Dortmund. Jak widać w tym przypadku poważna część pyłu wapiennego pozostała na półce, z której tylko jedna deska została zrzucona. Całkowite uruchomienie półek tego typu zachodzi przy silniejszym ciśnieniu dynamicznym.

3.5. W przypadku zapór wodnych wprzód ulegało uszkodzeniu dno pojemników, następuje to średnio po upływie ok. 70 ms od chwili dojścia czoła podmuchu. Następnie pojemniki ulegają całkowitemu zniszczeniu. Rys. 4a, b, c ilustruje uruchamianie zapory wodnej.

3.6. Znalezione średnie całkowite czasy t_c uruchomienia półek i pojemników zestawiono w tabelicy 1. Różnice w wartościach t_c dla trzech różnych wymiarów półek typu KD Barbara są wprawdzie zupełnie logiczne, jednakże test F zastosowany do badania rozbieżności wartości średnich wykazał, że odnośne różnice wartości t_c są nieistotne wobec czego można przyjąć dla wszystkich tego typu półek średnią wartość $t_c = 530$ ms. Niemal identyczną wartość t_c znaleziono dla półek Dortmund.

Tablica 1

Wyniki pomiarów całkowitego czasu t_c
uruchomienia zapór z pyłem wapiennym i zapór wodnych
w warunkach słabych wybuchów metanu
Długość półek 200 cm

Typ półki (pojemnika)	Szerokość półki cm	Wysokość drabinki cm	Ładunek pyłu wapiennego wody kg	Ilość doświadczeń	Średni całkowity czas uruchomienia półek - pojemników t_c ms
Zapory z pyłu wapiennego					
KD Barbara	35	20	62	13	487
" "	50	10	102	11	595
" "	50	20	102	25	519
Dortmund	60	-	160	9	541
Zapory wodne					
pojemniki z polistyrenu Barbara	60x33x28 cm		37,5	19	186

Istotne różnice między zaparami Barbara i Dortmund występują dopiero przy badaniu minimalnych ciśnień dynamicznych uruchamiających zaporę.

Zwraca uwagę znacznie niższa wartość t_c dla zapór wodnych niż dla zapór z pyłu wapiennego.

3.7. W warunkach silnego wybuchu metanu znaleziono znacznie niższe wartości t_c , a mianowicie:

dla zapór KD Barbara (50 x 10 cm) $t_c = 160$ ms

dla zapór Dortmund $t_c = 114$ ms

dla zapór wodnych $t_c = 70$ ms

4. Badania ciśnień dynamicznych uruchamiających zapory

4.1. Badania doprowadziły do znalezienia dwóch charakterystycznych wielkości ciśnień dynamicznych:

ciśnienia dynamicznego p_0 , przy którym w żadnym przypadku nie stwierdzono uruchomienia zapory,
ciśnienia dynamicznego p_w , przy którym we wszystkich przypadkach zapory były uruchamiane.

4.2. Badania wykonano ustawiając zapory przed sztolnią oraz wewnątrz sztolni w odległości 30 m od przodka.
Wyniki badań ujęto w tablicy 2.

Tablica 2

Zestawienie wyników badań ciśnień dynamicznych uruchamiających zapory z pyłu wapiennego oraz zapory wodne

Typ półki (pojemnika)	Szerokość półki cm	Wysokość drabinki cm	Ładunek pyłu wapiennego (wody) kg	Ilość doświadczeń	Ciśnienia dynamiczne	
					nieuruchamiające zapory P_0 g/cm ²	uruchamiające pewnie zapory P_w g/cm ²
I. Zapory umieszczone przed sztolnią doświadczalną						
Zapory z pyłu wapiennego						
KD Barbara	35	10	62	5	13	30
"	35	20	62	8	8	22
"	50	10	102	11	8,5	26
"	50	20	102	25	6,5	18,5
Dortmund	60	-	160	9	29	61
Zapory wodne						
pojemniki z polistyrenu Barbara	60x33x28 cm		37,5	19	70	148

II. Zapory umieszczone wewnątrz sztolni doświadczalnej

Zapory z pyłu wapiennego

KD Barbara	35	10	58	6	5,7	7,8
"	50	10	98	12	8	12,5
Dortmund	60	-	151	8	21	110

Cd. tablicy 2

Typ półki (pojemnika)	Szerokość półki cm	Wysokość drabinki cm	Ładunek pyłu wapiennego (wody) kg	Ilość doświadczeń	Ciśnienia dynamiczne	
					nieuruchamiające zapory p_o g/cm ²	uruchamiające pewnie zapory p_w g/cm ²
pojemniki z polistyrenu Barbara	Zapory wodne					
umocowane	60x33x28 cm		37,5	11	29	60
nieumocowane	60x33x28 cm		37,5	28	9	100

4.3. Wprowadzie ilość doświadczeń w poszczególnych seriach była poważna, jednakże była niedostateczna dla przeprowadzenia analizy statystycznej. W rezultacie podane wartości p_o i p_w są wielkościami znalezionymi bezpośrednio.

Jak widać z tablicy 2 przedziały pomiędzy p_o i p_w są stosunkowo szerokie. Oczywiście najważniejszymi są znalezione różnice między wartościami p_w dla poszczególnych wymiarów półek i typów zapór. Są one bardzo poważne.

Dla zapór z pyłu wapiennego typu Barbara zaznaczył się wyraźnie wpływ wysokości drabinki na wartość p_w . Najniższą wartość p_w stwierdzono dla półek szerokości 50 cm i wysokości drabinki 20 cm. Dla zapór typu Dortmund stwierdzono znacznie wyższe wartości p_w aniżeli dla zapór typu Barbara. Dla zapór wodnych stwierdzono najwyższe wartości p_w .

4.4. Oczywiście im niższa wartość p_w tym pewniejsze jest zadziałanie zapory w warunkach słabych wybuchów. Badania minimalnych ciśnień dynamicznych, przy których jest jeszcze możliwy rozwój wybuchu pyłu węglowego są bardzo trudne, zajmuje się nimi aktualnie KD Barbara.

Według dotychczasowych poglądów badaczy tego zagadnienia najniższe ciśnienia dynamiczne, przy których wybuchy słabe mo-

gą jeszcze rozwijać się są rzędu 50 g/cm^2 . Najnowsze badania KD Barbara wykazują, że wchodzi w rachubę ciśnienia niższe. Bliższe omówienie tego problemu przekracza ramy przedstawionego komunikatu.