

Jarosław Brodny\*

## WPŁYW OBCIĄŻENIA DYNAMICZNEGO NA PARAMETRY PRACY ZŁĄCZA CIERNEGO

---

### 1. Wstęp

Podstawową częścią obudowy podatnej, szeroko stosowanej w górnictwie węglowym, są złącza cierne. Oprócz połączenia konstrukcyjnego współpracujących kształtowników odrzwi i stojaków ciernych mają one za zadanie zapewnienie im odpowiedniej podatności i nośności.

Praca złączy ciernych opiera się na wykorzystaniu zjawiska tarcia statycznego i kinetycznego pomiędzy współpracującymi kształtownikami. Siła tarcia w złączu ciernym decyduje o jego podatności oraz nośności i zależy od wartości sił osiowych w śrubach strzemion oraz od wartości współczynników tarcia statycznego i kinetycznego pomiędzy współpracującymi kształtownikami.

Cechą charakterystyczną obudowy podatnej jest możliwość samoczynnej zmiany swoich gabarytów pod wpływem deformacyjnego obciążenia górotworu w wyniku wzajemnego przemieszczania się (zsuwu) współpracujących kształtowników w złączu ciernym. W wyniku wystąpienia zsuwów obudowa podatna przechodzi w nowy stan równowagi i w dalszym ciągu może zapewniać ochronę obciążonego wyrobiska, co stanowi jej dużą zaletę.

Stosowana w wyrobiskach korytarzowych obudowa podatna narażona jest na działanie obciążenia statycznego i dynamicznego. Szczególnie niebezpieczne z punktu widzenia zachowania funkcjonalności wyrobisk oraz bezpieczeństwa pracy załogi jest działanie obciążenia dynamicznego na obudowę. Źródłem tego obciążenia są tąpnięcia, odprężenia oraz wstrząsy występujące w górotworze.

Ze względu na coraz częstsze występowanie zjawisk dynamicznych w czasie eksploatacji górniczej oraz przy założeniu, że złącza cierne mają decydujący wpływ na charakter pracy obudowy podatnej, konieczne staje się prowadzenie badań mających na celu określenie

---

\* Instytut Mechanizacji Górnictwa, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

w jaki sposób obciążenie dynamiczne wpływa na pracę złącza ciernego stosowanego w tych obudowach.

W artykule zostały przedstawione wyniki badań stanowiskowych złączy ciernych, wykorzystywanych w obudowach odrzwiowych oraz w stojakach ciernych, obciążonych dynamicznie udarem masy. Badania zostały przeprowadzone na specjalistycznym stanowisku badawczym, na którym złącze cierne obciążone było masą uderową spadającą z określonej wysokości na trawersę spoczywającą na złączu.

Zastosowany układ rejestrująco-pomiarowy umożliwił wyznaczenie charakterystyki zmiany wartości siły przenoszonej przez złącze cierne w czasie udaru (tzw. charakterystyki dynamicznej złącza ciernego), charakterystyk zmian wartości sił osiowych w śrubach strzemion, prędkości zsuwającego się kształtownika oraz jego przemieszczenia.

Wyznaczono także zależności pomiędzy wartością wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion a maksymalną wartością siły przenoszonej przez złącze cierne.

Przedstawione wyniki badań i analiz powinny wzbogacić wiedzę na temat pracy złączy ciernych przy obciążeniu dynamicznym i zostać wykorzystane przy eksploatacji, projektowaniu oraz doborze obudowy podatnej do warunków zagrożenia obciążeniem dynamicznym.

## **2. Stanowisko do badań złączy ciernych obciążonych dynamicznie**

Badania złączy ciernych obciążonych dynamicznie udarem masy przeprowadzono na specjalistycznym stanowisku, którego widok został przedstawiony na rysunku 1.

W trakcie badań źródłem obciążenia była masa uderowa swobodnie spadająca z określonej wysokości na złącze cierne, na którym spoczywała trawersa. Masa uderowa, masa trawersy i wysokość, z jakiej dochodzi do spadku, były odpowiednio dobierane.

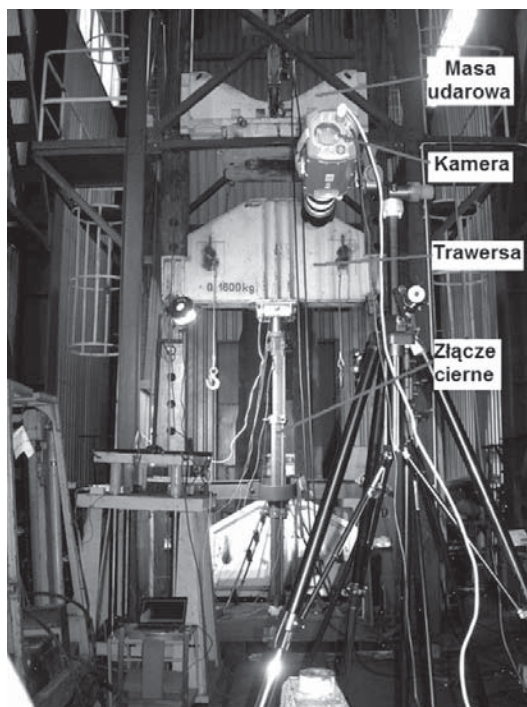
W czasie badań rejestrowane były zmiany wartości siły pod złączem ciernym i wartości sił osiowych w śrubach strzemion przy pomocy czujników tensometrycznych, a przemieszczenia elementów złącza przy pomocy kamery szybkoobrazkowej. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów zmian wartości przemieszczenia elementów złącza ciernego wyznaczono ich prędkości.

Zmiana wartości siły pod złączem ciernym w funkcji czasu określa charakterystykę dynamiczną złącza ciernego. Wartość tej siły charakteryzuje nacisk, jaki wywiera złącze cierne na podłoże, co odpowiada reakcji podłoża ( $R$ ).

W trakcie badań dokonywano ciągłego pomiaru wartości sił osiowych w śrubach strzemion. Wartości tych sił mają istotne znaczenie w fazie montażu i w czasie pracy złącza ciernego, gdyż decydują o sile, z jaką dociskane są współpracujące kształtowniki, co ma istotny wpływ na nośności i podatność złącza ciernego [1].

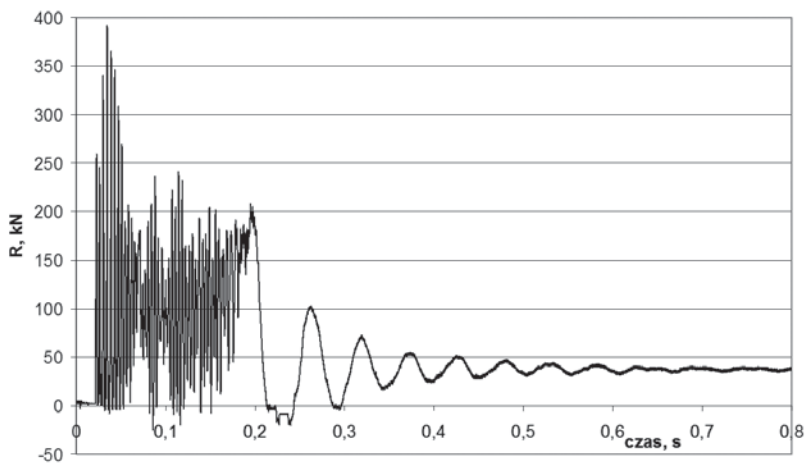
## **3. Wyniki pomiarów**

Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie charakterystyk dynamicznych złączy ciernych, które określają zmianę wartości siły przenoszonej przez złącza w funkcji czasu.



**Rys. 1.** Widok stanowiska do badań dynamicznych złączy ciernych

Na rysunku 2 została przedstawiona charakterystyka dynamiczna złącza ciernego wykonanego z kształtowników V29 z dwoma strzemiemiami jarzmowymi typu SDO 29. Charakterystyka ta została wyznaczona dla masy uderowej równej 4000 kg spadającej z wysokości 0,5 m na trawersę o masie 1600 kg. Wartość siły, z jaką były dociskane współ-



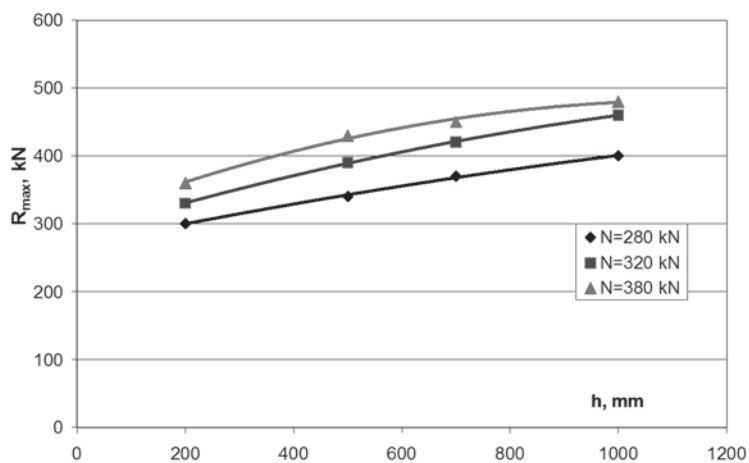
**Rys. 2.** Charakterystyka dynamiczna złącza ciernego

pracujące kształtowniki wynosiła 320 kN. Wartość tej siły była równa sumie wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion złącza.

Z otrzymanej charakterystyki wyznaczono maksymalną wartość siły przenoszonej przez złącze cierne, która wynosi 398 kN. Jednocześnie należy zauważyć, że po upływie ok. 0,6 s następuje przejście całego układu w stan ustalony. W stanie tym złącze jest obciążone siłą wynikającą ze statycznego działania spoczywających na nim masy udarowej i masy trawersy.

W trakcie badań zmianie ulegała wysokość  $h$ , z jakiej dochodziło do spadku masy udarowej oraz wartości wstępnych sił osiowych w śrubach strzemion.

Na tej podstawie wyznaczone zostały zależności pomiędzy wysokością, z jakiej spada masa udarową a maksymalną wartością siły ( $R_{max}$ ) przenoszonej przez złącza ciernego dla różnych sumarycznych wartości wstępnych sił osiowych ( $N$ ) w śrubach strzemion złącza ciernego (rys. 3).

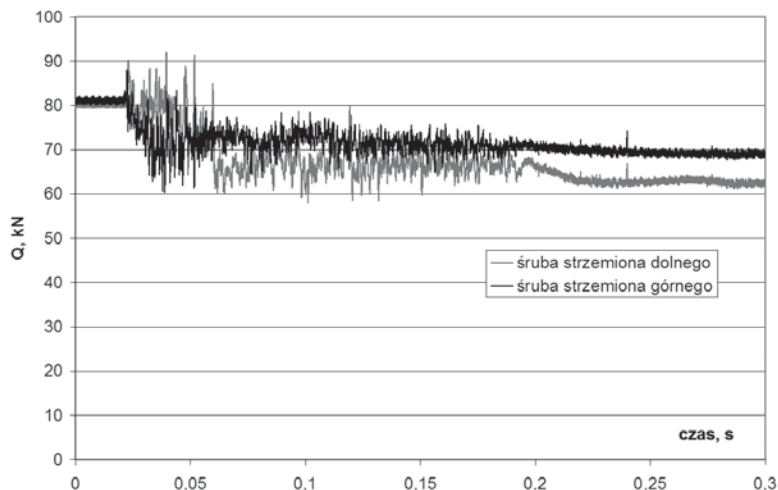


Rys. 3. Zależność maksymalnej wartości siły przenoszonej przez złącze cierne w funkcji wysokości spadku masy udarowej dla różnych wartości sił osiowych w śrubach strzemion

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że wraz ze wzrostem wysokości, z jakiej spada masa udarowa oraz sumarycznej wartości sił osiowych w śrubach strzemion, rośnie maksymalna wartość siły przenoszonej przez złącze cierne.

Wyznaczone w czasie badań charakterystyki zmian wartości sił osiowych w śrubach strzemion złącza ciernego obciążonego masą spadającą z wysokości 0,5 m zostały przedstawione na rysunku 4.

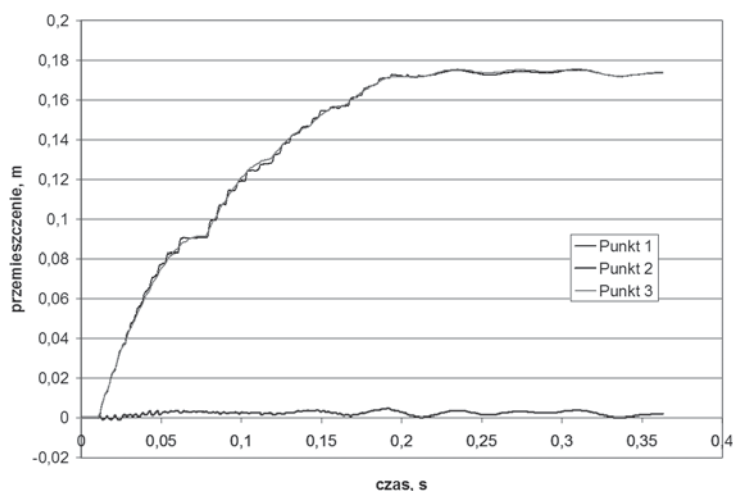
W analizowanym przykładzie wartości sił wstępnych w śrubach wynosiły po ok. 80 kN. Dynamiczne obciążenie złącza ciernego spowodowało, że wartości tych sił w trakcie badania uległy zmniejszeniu. Po upływie ok. 0,2 s nastąpiło ustabilizowanie ich wartości na niższym poziomie w stosunku do wartości wstępnej. Wartość siły osiowej w śrubie górnego strzemion zmniejszyły się o ok. 15%, a dolnego o ok. 26%.



Rys. 4. Zmiana wartości sił osiowych w śrubach strzemion przy obciążeniu dynamicznym złącza ciernego

W celu wyznaczenia charakterystyk zmian przemieszczeń elementów złącza ciernego w czasie zsuwu wykorzystano kamerę szybkoobrazkową.

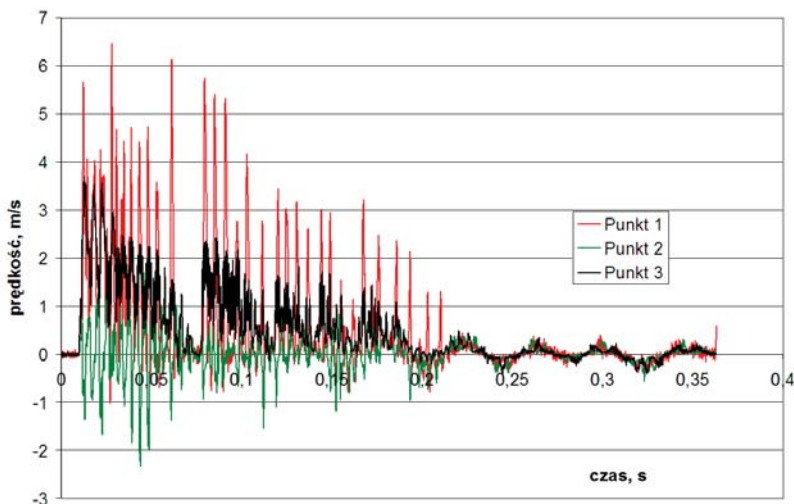
Analizę przeprowadzono dla trzech punktów, których sposób oznaczenia na poszczególnych elementach złącza ciernego i ich przemieszczenia w czasie zsuwu przedstawiono na rysunku 5. Punkt 3 znajduje się na zsuwającym się górnym kształtowniku, który poprzez zabieraki jest połączony ze strzemionem dolnym, na którego jarzmie dolnym znajduje się punkt 1. W czasie zsuwu w dół charakterystyki przemieszczania się tych punktów są praktycznie identyczne. Punkt 2 został zlokalizowany na jarzmie dolnym strzemiona górnego,



Rys. 5. Oznaczenie punktów i ich przemieszczenia w czasie zsuwu w złączu ciernym

które poprzez zabieraki jest połączone z kształtownikiem dolnym, który w czasie zsuwu wykonuje tylko niewielkie drgania. Całkowita wartość zsuwu w złączu przedstawionym na rysunku 5 wyniosła 0,175 m.

Wyznaczenie charakterystyk przemieszczeniowych punktów zlokalizowanych na elementach złącza ciernego umożliwiło określenie rozkładu ich prędkości w czasie zsuwu w złączu ciernym. Rozkłady te zostały przedstawione na rysunku 6.



Rys. 6. Charakterystyki zmian prędkości punktów złącza ciernego w czasie zsuwu

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Negatywne skutki dynamicznego oddziaływania górotworu są szczególnie widoczne w górniczych wyrobiskach korytarzowych. Stalowa odrzwiowa obudowa podatna, najczęściej stosowana w tych wyrobiskach, jest mało odporna na tego typu obciążenia [2, 3]. Dlatego też konieczne staje się prowadzenie badań i analiz mających na celu określenie, jaki wpływ na pracę obudowy podatnej i jej elementów ma obciążenie dynamiczne.

Na podstawie przeprowadzonych badań stanowiskowych złączy ciernych poddanych dynamicznemu obciążeniu udarem masy wyznaczono ich charakterystyki pracy (dynamiczne charakterystyki pracy).

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że im wyższa wysokość, z jakiej dochodziło do spadku masy udarowej, tym większe zanotowano wartości sił przenoszonych przez złącza cierne.

Bardzo istotny wpływ na wartości sił przenoszonych przez złącze cierne mają wartości sił osiowych w śrubach strzemion. Wzrost wartości sił osiowych w śrubach spowodował zwiększenie wartości sił przenoszonych przez złącze cierne. Związane to było z jednoczesnym zmniejszeniem wielkości zsuwu w złączu. Można przyjąć, że zwiększenie wartości sił osiowych w śrubach strzemion złącza powoduje zwiększenie jego nośności przy jednoczesnym zmniejszeniu podatności.

Wyznaczenie charakterystyk zmiany wartości sił osiowych w śrubach pozwoliło stwierdzić, że w wyniku wystąpienia zsuwu w złączu ciernym następuje znaczne zmniejszenie wartości tych sił. Po wystąpieniu zsuwu w złączu bardzo trudno jest określić wartości sił, z jakimi są dociskane współpracujące kształtowniki, co jest bardzo niekorzystne, gdyż siły te decydują o nośności i podatności złącza oraz całej obudowy. W praktyce po wystąpieniu zsuwu w złączu konieczne staje się ponowne dokręcanie nakrętek w śrubach strzemion.

Analizując przebiegi zmian przemieszczenia i prędkości elementów złącza ciernego w przypadku jego udarowego obciążenia w czasie zsuwu można stwierdzić, że przebiegi te są bardzo szybkie. Gwałtowny przebieg zsuwu, szczególnie w przypadku złączy o dużej podatności, powoduje szybką utratę jego nośności. Może to w przypadku odrzwi obudowy podatnej doprowadzić do utraty kontaktu ze stropem, co jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym.

W przypadku dużej podatności złączy ciernych ich charakterystyki pracy wyznaczone przy obciążeniu udarowym wykazują małe przystosowanie do przejmowania obciążeń dynamicznych. Konieczne staje się więc szukanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych, które wpłynęły by na poprawę charakterystyki dynamicznej pracy złącza ciernego.

Przedstawiona metoda badania złączy ciernych pod obciążeniem dynamicznym oraz uzyskane wyniki powinny, zdaniem autora, poszerzyć wiedzę na temat pracy obudowy podatnej i zostać wykorzystane przy projektowaniu nowych rozwiązań obudów górniczych i tunelowych stosowanych w warunkach zagrożenia obciążeniem dynamicznym.

## LITERATURA

- [1] *Brodny J.*: Wstępna analiza pracy połączenia śrubowego w złączu ciernym. Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej, Górnictwo i Geoinżynieria, Zeszyt 2, Kraków 2010
- [2] *Prusek S., Rotkegel M.*: Przebieg kompleksowego procesu projektowania nowej konstrukcji obudowy wyrobisk korytarzowych. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2008
- [3] *Stoiński K.*: Wybrane problemy współpracy obudowy wyrobisk górniczych z górotworem w warunkach obciążeń dynamicznych-tań. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Zeszyt 17, Gliwice 1988