

*Jarosław Brodny\**

## ANALIZA PRACY ZŁĄCZA CIERNEGO ODRZWI OBUDOWY GÓRNICZEJ PRZY OSIOWYM ŚCISKANIU I STATYCZNYM ZGINANIU\*\*

---

### 1. Wstęp

Obecnie w polskich kopalniach węglowych czynnych jest kilkadziesiąt ścian, w których w sposób ciągły urabia się węgiel kamienny. W celu prawidłowej eksploatacji tych ścian, transportu urobku w jedną stronę, a maszyn, urządzeń i wyposażenia w drugą stronę oraz wentylacji i bezpiecznego transportu ludzi, ściany te oplecione są kilometrami górniczych wyrobisk korytarzowych. Wyrobiska wykonane są w węglu lub w skale płonnej i zabezpieczane obudową górniczą.

Do zabezpieczenia wyrobisk stosuje się głównie odrzwiową obudowę podatną wykonaną ze stalowych kształtowników typu V. Zadaniem obudowy jest zabezpieczenie wyrobisk korytarzowych przed obciążeniami statycznymi i dynamicznymi pochodzącymi od strony górotworu. Obudowa, w zależności od profilu, z jakiego jest wykonana, oraz zastosowanego osprzętu, posiada określone parametry pracy. Najważniejsze z nich to nośność i podatność.

Podatność obudowy realizowana jest w głównej mierze poprzez złącza cierne. Decydują one także o nośności odrzwi i jednocześnie zapewniają odpowiednie połączenie konstrukcyjne poszczególnych elementów odrzwi. Pod pojęciem złącza rozumiemy dwa proste odcinki odpowiedniego kształtownika połączone różnego typu strzemionami. Złącza cierne mają decydujący wpływ na charakterystykę pracy całych odrzwi, a w dalszej kolejności całej obudowy.

Poprzez charakterystykę pracy odrzwi rozumiemy zależność pomiędzy siłą obciążającą odrzwia a ich przemieszczeniem się na skutek pracy złącza ciernego. Decydujący wpływ na

---

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

\*\* Praca sfinansowana przez NCBiR w ramach projektu badawczego nr 03 0081 06/2009

charakterystykę pracy odrzwi ma charakterystyka pracy jej złącza ciernych. Charakterystykę tą wyznacza się na podstawie badań stanowiskowych jednego złącza ciernego odrzwi zgodnie z PN-91/G-15000/11 (tzw. wykres pracy złącza ciernego). Badania obejmują wyznaczenie charakterystyki pracy złącza przy osiowym ściskaniu oraz na podstawie próby statycznego zginania złącza.

W niniejszym artykule zostały przedstawione wyniki badań stanowiskowych oraz analiz numerycznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, których celem było wyznaczenie charakterystyk pracy złącza ciernego przy osiowym ściskaniu i zginaniu zgodnie z PN-91/G-15000/11. Przedstawiono także wyniki analizy statycznego zginania złącza przeprowadzone zgodnie z niemiecką normą badania złączy ciernych [4].

## 2. Analiza pracy złącza przy osiowym ściskaniu

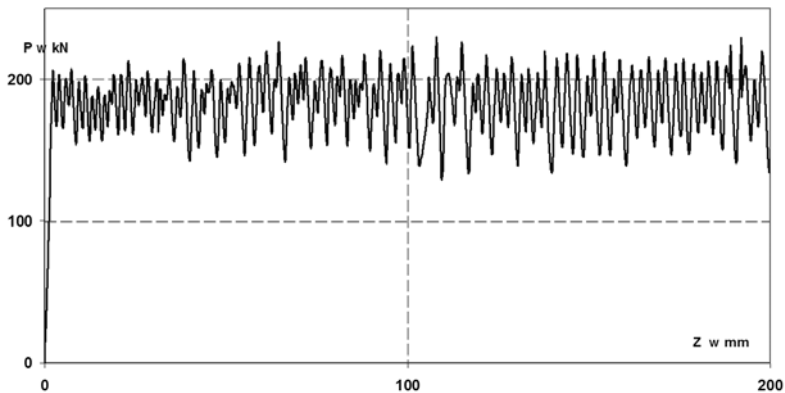
Badanie złącza ciernego przy ściskaniu polega na osiowym obciążeniu dwóch prostych odcinków kształtownika połączonych strzemionami zgodnie z PN-91/G-15000/11.

Na rysunku 1 został przedstawiony sposób montażu złącza ciernego wykonanego z kształtowników V29 połączonych dwoma strzemionami SDO 29. W analizowanym przypadku moment dokręcenia śrub mocujących strzemiona wynosił 350 Nm. Na podstawie przeprowadzonej próby wyznaczony został wykres pracy złącza przedstawiony na rysunku 2. Na wykresie tym  $P$  (kN) oznacza siłę osiową obciążającą kształtowniki, a  $Z$  jest wielkością zsuwu (mm).



**Rys. 1.** Sposób badania złącza ciernego stalowych odrzwi obudowy przy osiowym ściskaniu oraz dyskretny model złącza

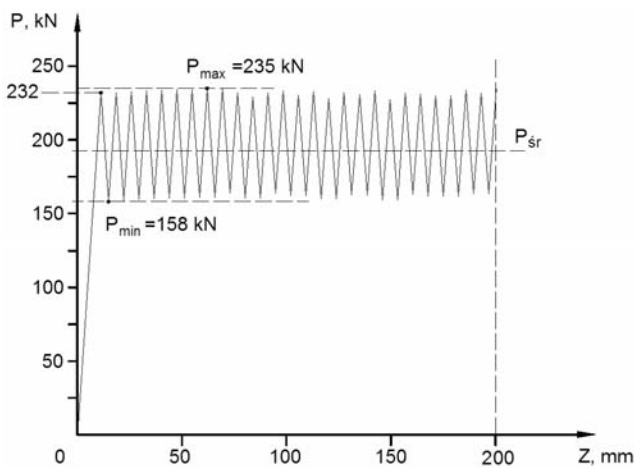
W oparciu o schemat wyznaczania charakterystyki pracy złącza ciernego na podstawie badań stanowiskowych opracowano dyskretny model złącza ciernego (rys. 1). Model opracowany został na bazie badanego złącza ciernego odrzwi obudowy wykonanego z kształtow-



**Rys. 2.** Charakterystyka pracy złącza ciernego stalowej podatnej odrzwi obudowy przy osiowym ściskaniu z dwoma strzemiionami SDO 29

ników V29 z dwoma strzemiionami typu SDO 29. Sposób podparcia i obciążenia realizowany był zgodnie z PN-91/G-15000/11. Śruby mocujące strzemiiona zostały obciążone siłami wstępnymi wynikającymi z momentu dokręcenia nakrętek (350 Nm).

Opracowany model poddano analizie numerycznej z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Celem analizy było wyznaczenie charakterystyki pracy złącza oraz określenie stanu naprężenia i odkształcenia jego elementów.



**Rys. 3.** Charakterystyka pracy złącza ciernego uzyskana na podstawie analizy numerycznej

Na rysunku 3 została przedstawiona charakterystyka pracy złącza uzyskana w wyniku przeprowadzonej analizy numerycznej.

W tabeli 1 porównane zostały podstawowe parametry opisujące charakterystyki pracy złącza otrzymane na podstawie analizy numerycznej i badania stanowiskowego.

TABELA 1

**Podstawowe parametry charakterystyki pracy złącza ciernego**

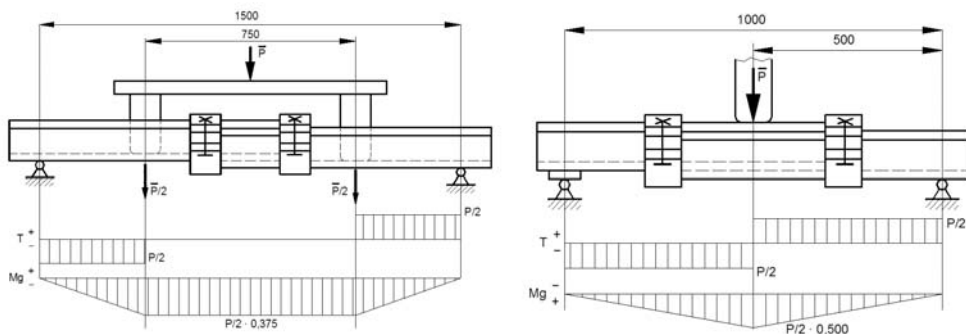
	Nośność zsuwna (pierwszy zsuw) [kN]	Maksymalna nośność zsuwna [kN]	Minimalna no- śność zsuwna [kN]	Średnia nośność zsuwna [kN]
Badanie stanowiskowe	217	228	132	183
Analiza numeryczna	232	235	158	195
Odchyłka, %	6,9	3,1	19,7	6,5

**3. Analiza pracy złącza ciernego przy statycznym zginaniu**

Próbe statycznego zginania złącza ciernego przeprowadza się zgodnie z PN-91/G-15000/11. Badania przeprowadza się dla dwóch przypadków położenia próbki, tzn. dnem kształtownika do d i dnem kształtownika do dołu.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań przy położeniu kształtownika dnem do dołu, gdyż z takim układem mamy najczęściej do czynienia w praktyce.

Rozpatrzone zostały dwa układy badawcze wynikające z różnego sposobu obciążenia próbek. W pierwszym przypadku kształtowniki zostały obciążone w dwóch płaszczyznach poprzez trawersę o dużej sztywności (wg PN-91/G-15000/11). W drugim przypadku kształtowniki obciążono siłą działającą bezpośrednio symetrycznie pomiędzy strzemionami złącza (wg DIN 21530-4-2003-05). Sposób badania złączy przy statycznym zginaniu zgodnie z przedstawionymi normami został przedstawiony na rysunku 4. Badania przeprowadzono dla złączy ciernych składających się z kształtowników V29 połączonych dwoma strzemionami SDO 29, których śruby zostały dokręcone momentami skręcającymi o wartości 350 Nm. Celem przeprowadzonej próby było wyznaczenie wykresu zginania, który określa zależność siły obciążającej złącze w stosunku do przemieszczenia kształtowników w miejscu i kierunku działania tej siły.



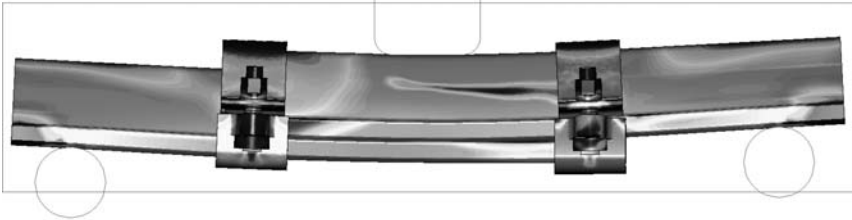
**Rys. 4.** Schemat badania złącza ciernych stalowej podatnej odrzwi obudowy przy statycznym zginaniu przy obciążeniu wg [4, 5]

Oba przedstawione przypadki obciążenia złącza zostały poddane analizie numerycznej z zastosowaniem metody elementów skończonych. W sposób analogiczny, jak przy próbie osiowego ściskania, zostały opracowane modele dyskretnie złącza ciernych, a następnie zgodnie z założeniami [4, 5] poddane analizie numerycznej.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawione zostały, otrzymane w wyniku analizy numerycznej, rozkłady naprężeń zredukowanych oraz stany odkształcenia złącza ciernym poddanych statycznemu zginaniu zgodnie z [4, 5].



**Rys. 5.** Rozkład naprężeń zredukowanych oraz stan odkształcenia złącza ciernego przy obciążeniu wg PN-91/G-15000/11

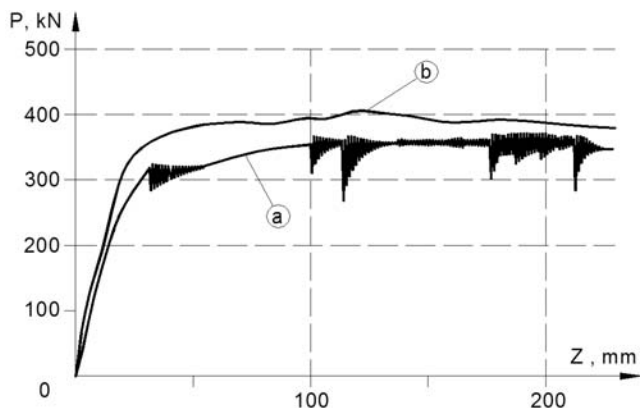


**Rys. 6.** Rozkład naprężeń zredukowanych oraz stan odkształcenia złącza ciernego przy obciążeniu wg DIN 21530-4-2003-05

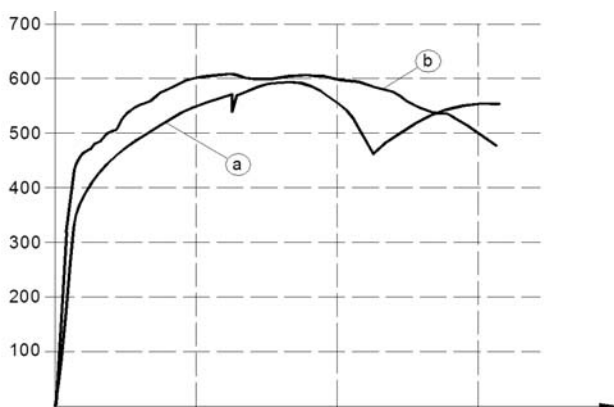
Na rysunkach 7 i 8 zostały przedstawione wykresy zginania dla obu rozpatrywanych przypadków obciążenia złącza uzyskane w wyniku badań stanowiskowych oraz analizy numerycznej.

#### 4. Podsumowanie

Obecnie stosowane rozwiązania konstrukcyjne złącza ciernych charakteryzują się niestabilną pracą. Przy obciążeniach statycznych i dynamicznych trudne do przewidzenia są wielkości zsuwów, czas ich wystąpienia, jak i wartości przenoszonych sił. Zsuwy często występują przy niskich obciążeniach i w sposób niedostateczny wykorzystywany jest potencjał nośny kształtowników, z jakich wykonane są odrzwia [1]. Po kilku lub kilkunastu zsuwach następuje zablokowanie złącza, jego deformacja i wzrost przenoszonego obciążenia aż do zniszczenia strzemion lub kształtowników odrzwia [2]. Przy obciążeniach dynamicznych obudowa pracuje jako sztywna do momentu rozpoczęcia zsuwu, a później praktycznie nie zabezpiecza wyrobiska aż do chwili ponownego usztywnienia, co powoduje jej dużą deformację i zniszczenie [3].



**Rys. 7.** Wykresy zginania złącza ciernego stalowej podatnej odrzwi obudowy przy statycznym zginaniu (wg PN-91/G-15000/11)  
a — na podstawie badań stanowiskowych, b — na podstawie analizy numerycznej



**Rys. 8.** Wykresy zginania złącza ciernego stalowej podatnej odrzwi obudowy przy statycznym zginaniu (wg DIN 21530-4-2003-05)  
a — na podstawie badań stanowiskowych, b — na podstawie analizy numerycznej

Rzeczywiste charakterystyki pracy złączy ciernych wyznacza się na podstawie kosztownych badań stanowiskowych. Celowym staje się więc prowadzenie prac mających za zadanie opracowanie i wykorzystanie mniej kosztownych metod analizy pracy złączy, a które w sposób poprawny oddawałyby rzeczywisty charakter ich pracy. Zastosowanie metod numerycznych (MES) do analizy pracy złączy ciernych spełnia te warunki. Dodatkowo daje duże możliwości symulacyjne zarówno sposobów obciążania złącza, jak i możliwości zmian konstrukcyjnych poszczególnych jego elementów. W niniejszym opracowaniu zostały przedstawione wyniki badań stanowiskowych oraz numerycznych, których celem była analiza pracy złącza ciernego.

Szczególnie istotne znaczenie przy analizie numerycznej miało określenie punktów przejścia złącza ze stanu spoczynkowego w stan kinematyczny. Wystąpienie poślizgów w złączu dało możliwość zamodelowania podatności złącza ciernego.

Porównując otrzymaną w wyniku analizy numerycznej charakterystykę pracy złącza z charakterystyką uzyskaną na podstawie badań stanowiskowych należy podkreślić ich dużą zgodność zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym.

Analizując odchyłki procentowe wartości nośności otrzymanych w wyniku analizy numerycznej z danymi otrzymanymi na podstawie badań doświadczalnych należy zauważyć, że największa różnica występuje w przypadku określania minimalnej nośności zsuwanej. Dla pozostałych parametrów odchyłki te wahają się w granicach 3–7%. Przy starannym odwzorowaniu geometrii całego złącza i przyjęciu odpowiednich parametrów materiałowych przyczyny tych odchyłek należy upatrywać w pewnej niedoskonałości modelowania elementów kontaktowych w złączu oraz praktycznej niepewtarzalności wyników badań stanowiskowych. Trudności sprawia przyjęcie odpowiednich wartości współczynników tarcia pomiędzy elementami złącza, które powinny uwzględniać także korozję tych elementów, nierówności materiałowe na drodze przesuwu, a także lokalne deformacje kształtowników i niedokładności wykonania poszczególnych elementów złączy.

Analiza numeryczna została przeprowadzona dla stałych wartości współczynnika tarcia statycznego i dynamicznego, co spowodowało, że charakterystyka ta jest bardzo regularna. Wydaje się, iż w celu dokładniejszej analizy celowym będzie przyjęcie nieliniowej zależności na współczynnik tarcia dynamicznego, a w zasadzie na współczynnik pracy złącza ciernego.

Przedstawiony model daje duże możliwości symulacyjne wyznaczania charakterystyk pracy złącza ciernego oraz określania stanu naprężenia i odkształcenia całego złącza oraz poszczególnych jego elementów. Szczególnie należy podkreślić możliwość modelowania sił wstępnych w śrubach, co pozwala dokonywać obliczeń dla różnych momentów dokręcenia nakrętek śrub strzemion.

Przy statycznym zginaniu złącza rozpatrzone zostały dwa przypadki jego obciążenia. W pierwszym złącze zostało obciążone zgodnie z polską normą [5]. W tym przypadku w zasadzie bada się kształtowniki na zginanie, a nie złącze, w którym moment zginający jest stały, a siła poprzeczna wynosi zero. Widać to na rysunku 5, na którym przedstawiony jest rozkład naprężeń zredukowanych w złączu. Największe spiętrzenia naprężeń występują w kształtownikach w płaszczyznach przyłożenia obciążenia.

Znacznie mniej korzystnym sposobem obciążania jest sposób realizowany zgodnie z [4]. W tym przypadku zginane jest bezpośrednio złącze cierne, co jest widoczne na rysunku 6, na którym został przedstawiony rozkład naprężeń zredukowanych w złączu oraz stan jego odkształcenia. Występują znaczne spiętrzenia naprężeń w obu kształtownikach tworzących złącze, a także w strzemionach.

Z eksploatacyjnego punktu widzenia metoda badania złączy na zginanie wg [4] wydaje się bardziej korzystna. Dla obu przypadków zginania występuje niesymetryczne obciążenie strzemion. Niesymetria ta jest szczególnie widoczna dla drugiego przypadku [4].

Przy porównywaniu wyników badań stanowiskowych z wynikami uzyskanymi na podstawie analizy numerycznej należy także uwzględnić duży rozrzut wyników badań stanowiskowych.

Na podstawie przeprowadzonych analiz i uzyskanych wyników można stwierdzić, że zastosowanie metody elementów skończonych do analizy pracy złączy ciernych daje duże

możliwości badawcze i symulacyjne ich pracy. Analizy numeryczne oparte na poprawnie opracowanych modelach i prawidłowo przyjętych warunkach brzegowych mogą w wielu przypadkach zastąpić lub ograniczyć kosztowne badania stanowiskowe.

Uzyskane wyniki powinny zostać wykorzystane do opracowania nowych konstrukcji złącz ciernych.

#### LITERATURA

- [1] *Brodny J.*: Metody doboru obudowy wyrobisk korytarzowych stosowanych w kopalniach węgla kamiennego. Międzynarodowa konferencja „DIAGO 2007”. Ostrawa 2007
- [2] *Brodny J., Gluch P.*: Wyznaczanie charakterystyki pracy złącza ciernego. XVII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „TEMAG 2009”. Gliwice 2009
- [3] *Stoiński K.*: Wybrane problemy współpracy obudowy wyrobisk górniczych z górotworem w warunkach obciążeń dynamicznych - tąpnięć. ZN Pol. Śl. Gliwice, 1988
- [4] Deutsche Norm, DIN 21530-4-2003-05, Ausbau für den Bergbau
- [5] PN-91/G-15000/11, Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Kształtowniki korytkowe proste. Badanie złącz