GÓRNICTWO I GEOLOGIA 2011
Tom 6 Zeszyt 1

Jarosław BRODNY
Politechnika Śląska, Gliwice
Instytut Mechanizacji Górnictwa

WSPÓŁCZYNNIK PRACY ZŁĄCZA CIERNEGO GÓRNICZEJ, KORYTARZOWEJ OBUDOWY PODATNEJ

Streszczenie. Zasada pracy złącza ciernego polega na wykorzystaniu zjawiska tarcia statycznego i tarcia kinetycznego między stykającymi się powierzchniami współpracujących kształtowników. Parametrem charakteryzującym zjawisko tarcia są współczynniki tarcia statycznego i tarcia kinetycznego między stykającymi się powierzchniami. W przypadku złączy ciernych górniczej, korytarzowej obudowy podatnej, ze względu na wiele procesów deformacyjnych zachodzących w złączu oraz niejednoznacznie określony kształt stykających się powierzchni w czasie pracy złącza, posługiwanie się klasycznymi pojęciami współczynników tarcia staje się mało precyzyjne. Wykorzystując wyniki badań stanowiskowych, w czasie których rejestruje się w sposób ciągły zmianę wartości sił w śrubach strzemion oraz wartości siły przenoszonej przez złącze cierne, wyznaczono wartości tzw. współczynnika pracy złącza ciernego. Współczynnik ten zdefiniowano jako stosunek wartości siły przenoszonej przez złącze cierne do sumarycznej wartości sił osiowych w śrubach strzemion złącza. W artykule przedstawione zostały wartości tego współczynnika, wyznaczone na podstawie badań stanowiskowych dla różnych sposobów obciążenia złączy ciernych oraz dla złączy ciernych z klinem i bez klina oporowego.

COEFFICIENT OF WORK OF FRICTIONAL JOINT OF MINING YIELDING SUPPORT

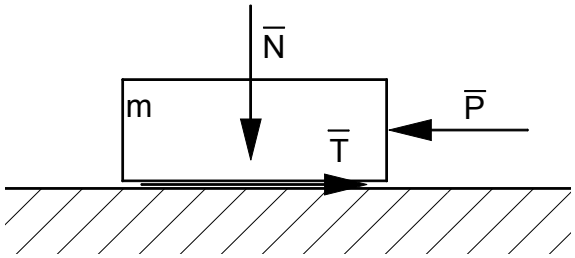
Summary. Principle of the work of friction joint consists of use the phenomena of static and kinematic friction between the contacting surfaces of cooperating sections. Parameters characterizing the friction phenomenon are coefficients of static and kinematic friction between contacting surfaces. In the case of frictional joints of mining yield support, for the sake of series of deforming processes undergoing in the joint and ambiguous defined shape of contacting surfaces during the work of the joint, the use the classical term of friction coefficients is less precise. Using the results of the bench tests, during which there is registered the change of value of forces in bolts of clamps and the value of force transmitted by the frictional joint, there were determined values of so called coefficient of work of frictional joint. This coefficient was defined as the ratio of force transmitted by the frictional joint to the total value of axial forces in the bolts of clamps of the joint. In this article there are presented values of this coefficient, determined based on the bench tests for different ways of loading the frictional joints and for frictional joints with and without the resistant wedge.

1. Wstęp

Samoczynna zmiana gabarytów górniczej, korytarzowej obudowy podatnej w trakcie jej pracy, na skutek deformacyjnego oddziaływania górotworu, jest możliwa dzięki zsuwom w złączu ciernym. Wystąpienie zsuwu w złączu ciernym polega na wzajemnym przemieszczeniu się współpracujących kształtowników.

Początkiem zsuwu jest moment, w którym wartość obciążenia zewnętrznego przewyższy wartość oporów ruchu w złączu ciernym. Opory te są w głównej mierze wynikiem działania sił tarcia statycznego pomiędzy elementami złącza ciernego.

Opierając się na klasycznym modelu tarcia Coulomba (rys. 1), można stwierdzić, że wartość siły niezbędnej do rozpoczęcia wzajemnego przemieszczania się dwóch stykających się powierzchni jest zależna od wartości siły dociskającej te powierzchnie oraz od wartości współczynnika tarcia statycznego między tymi powierzchniami [1]. W modelu tym powierzchnie stykających się ciał powinny być płaskie, a kierunek siły je dociskającej musi być do nich prostopadły.



Warunek rozpoczęcia ruchu:

$$P \rangle T_{st},$$

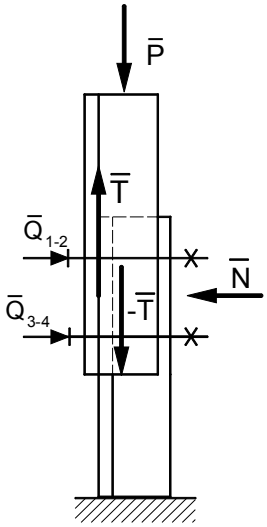
gdzie: $T_{st} = T = N \cdot \mu_{st}$

Rys. 1. Model tarcia wg Coulomba
Fig. 1. Coulomb friction model

W przypadku złączy ciernych powierzchnie współpracujących kształtowników są krzywoliniowe i w czasie zsuwu ulegają zmianie. Również kierunek siły dociskającej współpracujące kształtowniki nie jest prostopadły do tych powierzchni i w trakcie zsuwu zmienia się ze względu na odkształcenia jarzm i śrub strzemion. Schemat rozkładu sił w złączu ciernym został przedstawiony na rysunku 2.

Zgodnie z tym schematem oraz na podstawie modelu tarcia Coulomba można stwierdzić, że maksymalna wartość siły *P,* jaką przeniesie złącze cierne, jest ograniczona wartością siły *N,* z jaką dociskane są współpracujące kształtowniki, i przy przyjęciu statycznego współczynnika tarcia równego jeden (co w przypadku styku powierzchni stalowych jest niemożliwe) może być równa wartości tej siły (*N*).

W rzeczywistości, w trakcie badań stanowiskowych odnotowano przypadki, gdy wartość siły przenoszonej przez złącze cierne przekraczała wartość siły docisku współpracujących kształtowników. Jest to wynikiem skomplikowanego kształtu i stanu powierzchni stykających się kształtowników oraz wielu procesów reformacyjnych, zachodzących w poszczególnych elementach złącza ciernego.



Rys. 2. Rozkład sił w złączu ciernym
Fig. 2. Distribution of the forces in a frictional joint

Na podstawie powyższych faktów zasadne staje się stwierdzenie, że przyjmowanie do analizy pracy złącza ciernego wartości współczynnika tarcia, jako parametru charakteryzującego zależność pomiędzy wartością siły zewnętrznej, działającej na złącze cierne, a wartością siły dociskającej współpracujące kształtowniki, jest zbyt dużym uproszczeniem i nie opisuje rzeczywistego stanu obciążenia złącza.

Zagadnienie to zostało odnotowane w pracy [3], w której, w celu wyznaczenia nośności zsuwnej złącza ciernego, wprowadzono pojęcie zastępczego współczynnika tarcia μ_z. Współczynnik ten został wyznaczony na podstawie badań stanowiskowych i średnia jego wartość wyniosła 0,2945. W analizie tej przyjęto stałą zależność pomiędzy wartością siły osiowej w śrubie a wartością momentu skręcającego, z jakim dokręcane są nakrętki śrub. Wyniki badań opublikowane w pracy [2] dowodzą jednak, że wartości te nie są stałe oraz że wartości sił osiowych w śrubach strzemion w czasie pracy złącza ciernego podlegają dużym wahaniom.

Z opisanych wyżej powodów przyjęto i zdefiniowano nowy parametr, nazwany współczynnikiem pracy złącza ciernego, który zdaniem autora niniejszego artykułu w sposób bardziej dokładny opisuje stan obciążenia złącza ciernego.

Jako współczynnik pracy złącza ciernego określony zostanie stosunek wartości siły (P), przenoszonej przez złącze cierne do wartości siły (N), z jaką dociskane są współpracujące kształtowniki:

$$k_{zc} = \frac{P}{N}, \tag{1}$$

gdzie:

$N = \sum_{i=1}^{n} Q_i$,

Q_i – wartości sił osiowych w śrubach strzemion.

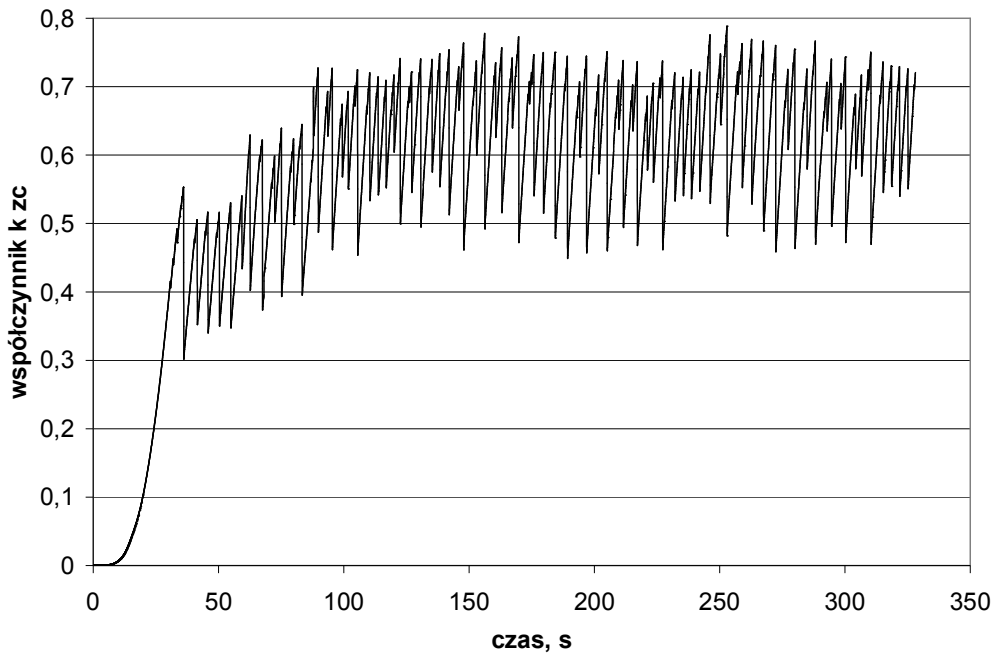
Tak zdefiniowany współczynnik pracy złącza ciernego umożliwia uwzględnienie wszystkich procesów w nim zachodzących, które wpływają na wartość siły, jaką przenosi złącze cierne.

W artykule przedstawiono zmiany wartości współczynnika pracy złącza ciernego, wyznaczone w czasie badań złączy obciążonych statycznie i dynamicznie. Badania zostały przeprowadzone dla klasycznych, podatnych złączy ciernych oraz dla złączy ciernych z klinem oporowym, wykonanych z kształtownika V29 z dwoma strzemionami SDO 29.

2. Wyznaczanie współczynnika pracy złącza ciernego dla złączy obciążonych statycznie

W celu wyznaczenia współczynnika pracy złącza ciernego dla złączy obciążonych statycznie konieczne było przeprowadzenie ich badań stanowiskowych. Badania te polegały na osiowym ściskaniu złącza siłą, która działa na jeden z kształtowników i jest wynikiem przemieszczania się ze stałą prędkością tłoka maszyny wytrzymałościowej. W czasie tych badań wyznaczane były zmiany wartości siły przenoszonej przez złącze cierne oraz zmiany wartości sił osiowych w śrubach strzemion.

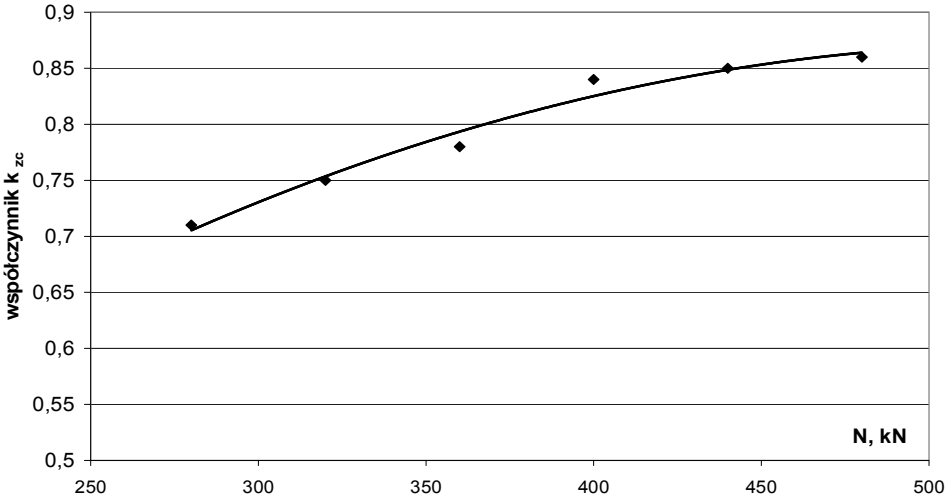
Stosunek chwilowej wartości siły przenoszonej przez złącze cierne do chwilowej wartości sumy sił osiowych w śrubach strzemion określa chwilową wartość współczynnika pracy złącza ciernego. Na rysunku 3 przedstawiono zmianę współczynnika pracy złącza ciernego dla podatnego złącza ciernego obciążonego statycznie.



Rys. 3. Zmiana wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza obciążonego statycznie
Fig. 3. Change in the value of the coefficient of work of frictional joint for statically loaded joint

Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że przebieg zmian wartości współczynnika pracy złącza ciernego jest podobny do przebiegu zmian wartości siły przenoszonej przez złącze cierne i zależny jest od momentu wystąpienia zsuwu w złączu. Współczynnik ten przyjmuje najwyższe wartości w momencie, kiedy rozpoczyna sie zsuw w złączu ciernym, a następnie jego wartość maleje. Wartość osiąganą w momencie rozpoczęcia pierwszego zsuwu należy przyjąć jako wartość, przy której występuje siła zrywająca złącze cierne (tzw. nośność zsuwna złącza ciernego).

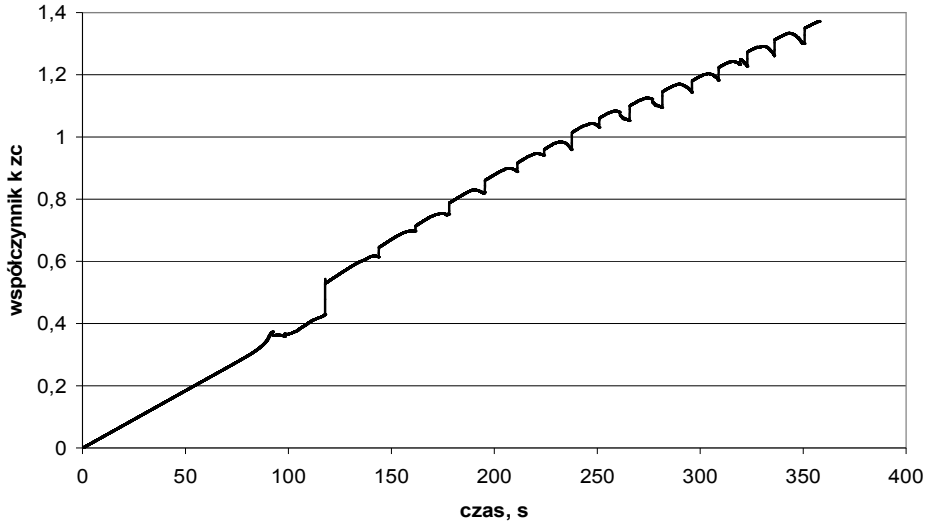
W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono zależność pomiędzy maksymalną wartością współczynnika pracy złącza ciernego a wartością wstępnej siły, z jaką są dociskane kształtowniki w złączu ciernym (rys. 4).



Rys. 4. Zmiana wartości współczynnika pracy złącza ciernego w funkcji wartości wstępnej siły docisku współpracujących kształtowników
Fig. 4. Change in the value of the coefficient of work for frictional joint as a function of initial value of pressing force of cooperating sections

W zakresie przeprowadzonych badań maksymalne wartości współczynnika pracy złącza ciernego, w przypadku obciążenia złącza siłą statyczną, mieszczą się w przedziale od ok. 0,72 do 0,86 i wykazują tendencję wzrostową wraz ze wzrostem wartości wstępnych sił, z jakimi dociskane są współpracujące kształtowniki.

Oprócz klasycznych, podatnych złączy ciernych, badaniom poddano także nową konstrukcję złącza ciernego z klinem oporowym. Na rysunku 5 przedstawiony został wykres określający zmianę wartości współczynnika pracy złącza ciernego z klinem oporowym przy statycznym obciążeniu złącza.



Rys. 5. Zmiana wartości współczynnika pracy złącza ciernego z klinem oporowym przy statycznym obciążeniu złącza
Fig. 5. Change in the value of the coefficient of work for frictional joint for a joint with wedge for statically loaded joint

Charakter uzyskanej zależności, pod względem jakościowym i ilościowym, istotnie odbiega od zależności uzyskanych dla złącza podatnego bez klina oporowego. Zastosowanie klina oporowego spowodowało, że wielkości zsuwów są mniejsze niż dla złącza bez klina, co uwidacznia się mniejszym zakresem zmian wartości współczynnika pracy złącza.

Wraz ze wzrostem wielkości zsuwu, rośnie wartość tego współczynnika, spowodowana wzrostem oporów ruchu w złączu oraz nośnością złącza. Powoduje to także wzrost wartości sił osiowych w śrubach strzemion, lecz przyrost ten jest mniejszy niż wzrost nośności złącza.

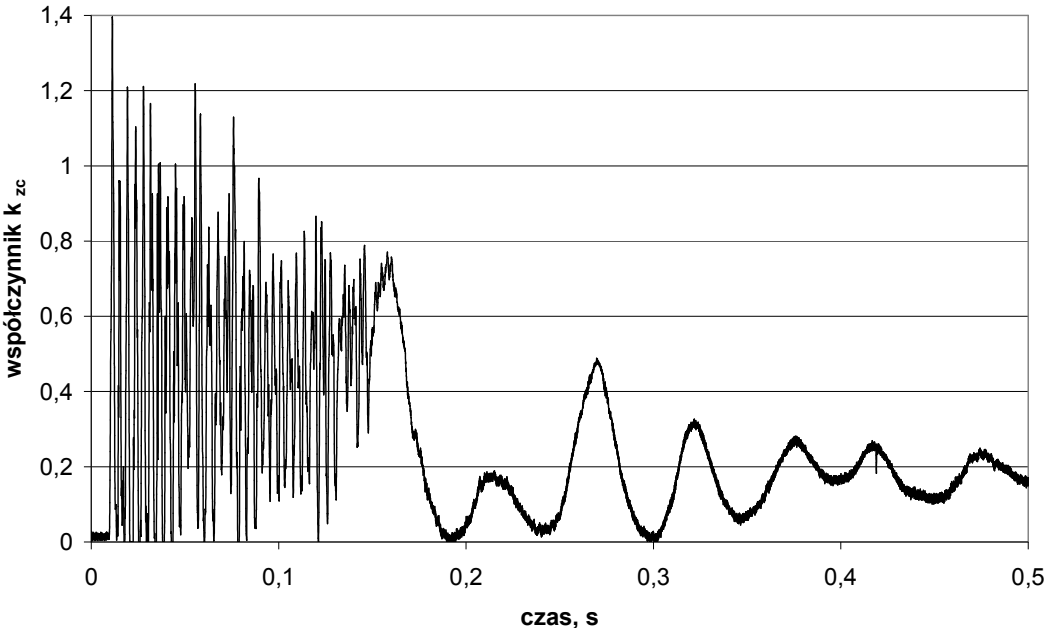
3. Wyznaczanie współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza obciążonego udarem masy

W celu wyznaczenia współczynnika pracy złącza ciernego obciążonego udarem masy przeprowadzono badania stanowiskowe, w czasie których złącze było obciążane masą swobodnie spadającą z określonej wysokości h na trawersę bezpośrednio spoczywającą na złączu ciernym. Badania przeprowadzono dla czterech różnych wysokości, z jakich dochodziło do spadku masy udarowej, której wielkość była stała i wynosiła 4000 kg. Masa trawersy w czasie badań też była stała i wynosiła 1600 kg.

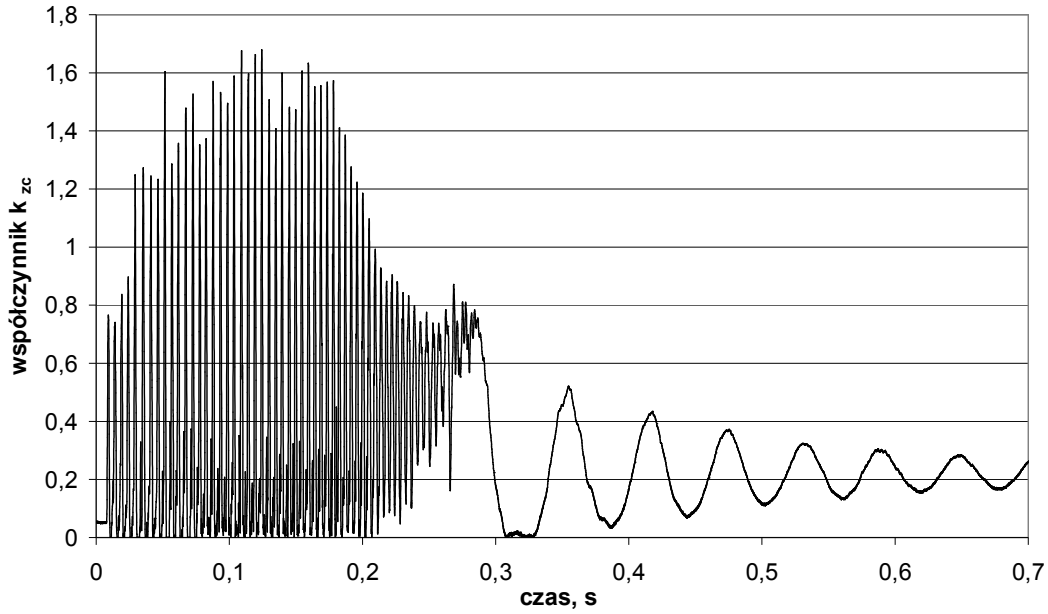
W czasie tych badań, podobnie jak w przypadku badania złączy pod obciążeniem statycznym, wyznaczane były zmiany wartości siły przenoszonej przez złącze cierne oraz zmiany wartości sił osiowych w śrubach strzemion.

Na podstawie tych pomiarów wyznaczono zmiany wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla badanych układów.

Na rysunku 6 przedstawiono zmiany wartości współczynnika pracy złącza ciernego obciążonego udarem masy spadającej z wysokości 0,5 m, a na rysunku 7 z wysokości 0,9 m.

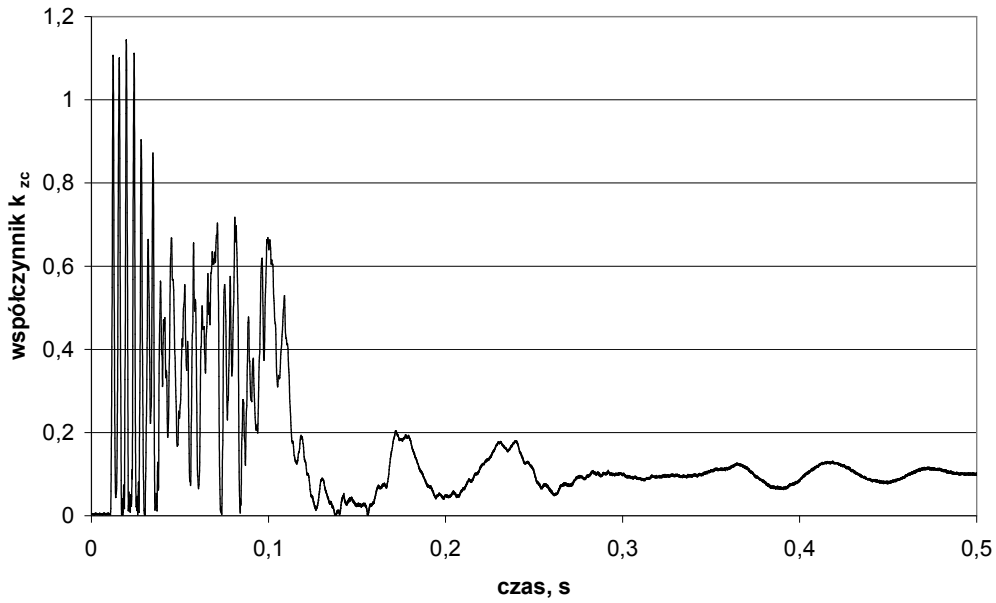


Rys. 6. Zmiana wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza obciążonego udarem masy (h=0,5 m)
Fig. 6. Change in the value of the coefficient of work of frictional joint for a joint loaded by impact of a mass (h=0.5 m)



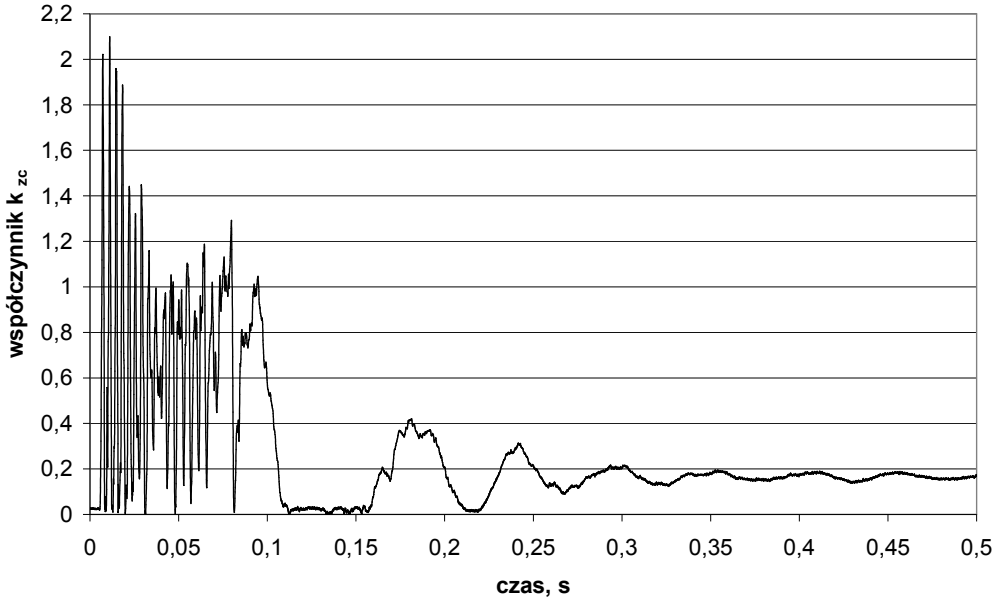
Rys. 7. Zmiana wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza obciążonego udarem masy (h=0,9 m)
Fig. 7. Change in the value of the coefficient of work of frictional joint for a joint loaded by impact of a mass (h=0.9 m)

Badaniom poddano także nową konstrukcję złącza ciernego z klinem oporowym. Zmiana wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza z klinem oporowym obciążonego udarem masy spadającej z wysokości 0,5 m została przedstawiona na rysunku 8, a dla udaru z wysokości 0,9 m na rysunku 9.



Rys. 8. Zmiana wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza z klinem oporowym obciążonego udarem masy (h=0,5 m)

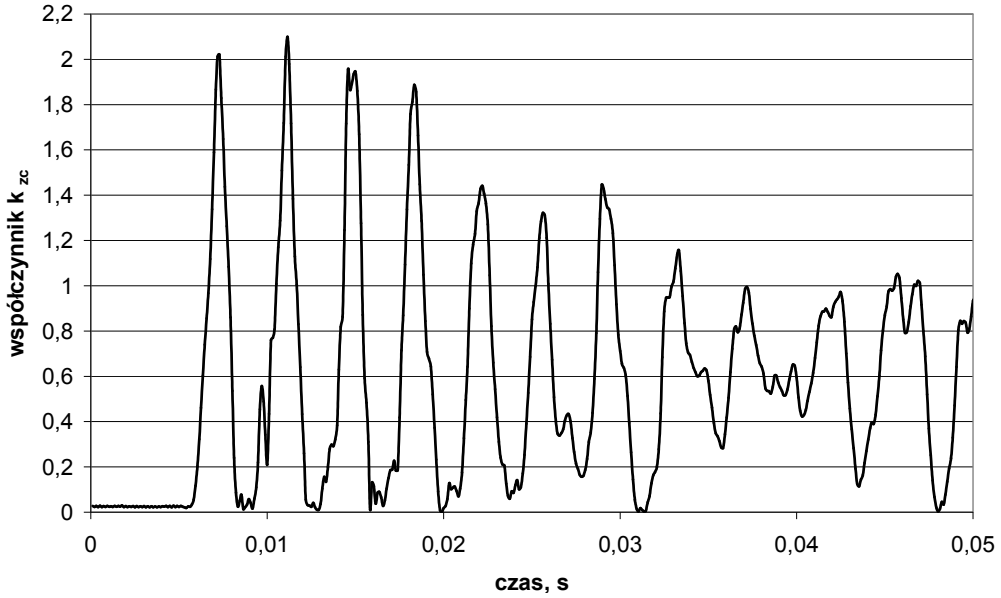
Fig. 8. Change in the value of the coefficient of work of frictional joint for a joint with wedge loaded by impact of a mass (h=0.5 m)



Rys. 9. Zmiana wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza z klinem oporowym obciążonego udarem masy (h=0,9 m)

Fig. 9. Change in the value of the coefficient of work of frictional joint for a joint with wedge loaded by impact of a mass (h=0.9 m)

W celu dokładniejszego prześledzenia charakteru zmian wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza obciążonego udarem masy na rysunku 10 przedstawiono jego przebieg obejmujący początkowe 0,05 s.



Rys. 10. Początkowy przebieg zmian wartości współczynnika pracy złącza ciernego dla złącza obciążonego udarem masy (h=0,9 m)

Fig. 10. Initial course of changes in the values of coefficient of work of frictional joint for a joint loaded by the impact of a mass (h=0.9 m)

Na podstawie uzyskanych charakterystyk można stwierdzić, że dla wysokości 0,5 m z jakiej spada masa udarowa, maksymalne wartości współczynnika pracy złącza ciernego wyznaczone dla złącza z klinem i bez klina oporowego są praktycznie takie same. Inny jest natomiast charakter zmian tego współczynnika.

Wzrost wysokości, z jakiej dochodzi do spadku masy udarowej, powoduje, że wartości te rosną. Dla złącza ciernego z klinem oporowym obciążonego udarem masy spadającej z wysokości 0,9 m zanotowane zostały maksymalne wartości tego współczynnika, wynoszące powyżej 2.

4. Podsumowanie

Zdefiniowanie nowego pojęcia, jakim jest współczynnik pracy złącza ciernego, pozwala jednoznacznie wyjaśnić zależność pomiędzy wartością siły, z jaką dociskane są współpracujące w złączu ciernym kształtowniki, a wartością siły, jaką przenosi złącze w czasie pracy.

Wyznaczone na podstawie badań stanowiskowych wartości tego współczynnika dla różnych konstrukcji złączy ciernych oraz dla różnych sposobów ich obciążenia dowodzą, że przyjęta definicja poprawnie oddaje rzeczywisty charakter pracy złączy ciernych.

Wiele zjawisk deformacyjnych, zachodzących w złączu ciernym w czasie jego pracy, powoduje, że wykorzystywane do tej pory do opisu stanu obciążenia złącza współczynniki tarć statycznego i kinetycznego nie dawały możliwości pełnej charakterystyki tego stanu.

Wyznaczone wartości współczynników pracy złączy ciernych dowodzą, że oprócz tarcia między powierzchniami współpracujących kształtowników w złączu zachodzą procesy deformacyjne jego elementów, które mają bardzo istotny wpływ na charakterystyki pracy złączy. Świadczy o tym fakt, że dla żadnego z badanych przypadków nie uzyskano wartości współczynnika pracy złącza ciernego, odpowiadającego wartości współczynnika tarcia statycznego pomiędzy dwoma powierzchniami stalowymi, mieszczącego się w zakresie od 0,15 do 0, 20 [4].

Uzyskane wartości współczynnika pracy złącza ciernego mogą zostać wykorzystane przy numerycznym modelowaniu pracy złączy ciernych. Przyjęcie odpowiedniej wartości tego współczynnika umożliwia bowiem uwzględnienie wielu zjawisk zachodzących w złączu ciernym w czasie jego pracy, a trudnych do opisu matematycznego.

BIBLIOGRAFIA

1. Bowden F.P., Tabor D.: Wprowadzenie do trybologii. WNT, Warszawa 1980.
2. Brodny J.: Wyznaczanie sił w śrubach strzemiona w złączu ciernym obudowy górniczej. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 5 (471), Katowice 2010.
3. Ciałkowski B.: Teoretyczne i doświadczalne podstawy konstrukcji złącz obudowy ŁP dla wyrobisk zagrożonych tąpaniami. Praca doktorska. GIG, Katowice 1996.
4. Sokolski P., Ziemba S.: Zużycie elementów maszyn spowodowane tarciem. PWN, Warszawa 1969.

Wyniki badań uzyskane na podstawie realizacji Projektu Rozwojowego nr N R03 0081 06 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Recenzent: Dr hab. inż. Józef Kabiesz, prof. GIG

Abstract

The values of the static and dynamic friction coefficients currently taken into analysis of work of the frictional joint as the parameters characterizing dependences between the value of the force transmitted by the frictional joint and the value of the force pressing the cooperating sections are too large simplification, and do not describe the real state of load of a joint.

In the article there was defined and determined new parameter describing the loading state in a frictional joint. This parameter is the coefficient of work of the frictional joint.

Based on the bench tests there were determined values of this coefficient and there are presented its changes for a frictional joint loaded statically and dynamically. Tests were performer for the classical yield frictional joints and for the frictional joints with the resistant wedge made of the V section with the two S clamps.

Determined values of the coefficient of work for frictional joints prove, that beside the friction between the surfaces of cooperating sections in the joint there proceed deformation processes of its elements, which have very significant influence on the characteristics of the work of joints.