

# Sposób zwiększenia bezpieczeństwa wyrobisk z podatną obudową chodnikową (Komunikat)

dr inż. Bogusław CIAŁKOWSKI

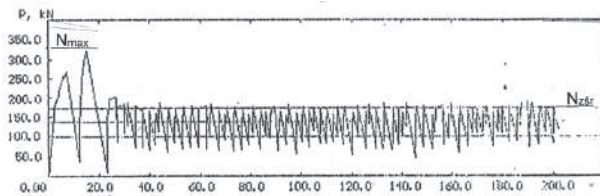
**TREŚĆ:** Aktualnie stosowane połączenia zakładkowe chodnikowej obudowy podatnej, realizowane za pomocą strzemion dwujarzmowych, tracą po pierwszych zsuwach około 50% nośności początkowej, co stwarza problemy z utrzymaniem wymaganego przekroju wyrobiska. Opisano element konstrukcyjny, nazwany blokadą szybkich zsuwów, którego dodanie do złącza ma na celu utrzymanie jego wysokiej nośności początkowej w całym zakresie zsuwu. Przedstawiono przebieg i wyniki badań charakterystyki zsuwu złącz prostych odcinków kształtownika V32 wyposażonych w prototypy blokady, przeprowadzonych zgodnie z polskimi normami dotyczącymi badania złącz, a także wyniki badań oporu przesuwu samych blokad BL32 po kształtowniku V32, przeprowadzonych na stanowisku zaprojektowanym przez autora. Wyniki badań są pozytywne; uzyskany poziom oporu blokady po kształtowniku V32 rzędu  $155 \div 165$  kN przy dokręceniu nakrętki momentem 400 Nm oraz rzędu  $200 \div 210$  kN przy dokręceniu nakrętki momentem 500 Nm jest wystarczający dla utrzymania nośności aktualnie stosowanych złącz na poziomie nośności początkowej w całym zakresie zsuwu. Badania charakterystyki zsuwu stojaka SV32 z zastosowaniem blokady, przeprowadzone zgodnie z PN-G-15026 (2017), wykazały, że blokada w znacznym stopniu hamuje skokowe zsuwy, co znacznie podniosło ich nośność średnią. W następnych etapach analiz należy sprawdzić wpływ stosowania blokady na nośność dynamiczną złącz podatnych oraz przeprowadzić badania dotowe.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obudowa chodnikowa; nośność złącz; połączenia zakładkowe

W wyrobiskach chodnikowych polskich kopalń węgla powszechnie stosowana jest obudowa łukowa podatna typu ŁP. Stosowane są także odrzwia prostokątne złożone z prostych stropnic i stojaków typu SV. Elementy składowe tych obudów, zarówno łukowe jak i proste, wykonane z kształtowników stalowych typu V, składa się na zakładkę i dociska za pomocą strzemion. Zadaniem tej obudowy jest reagowanie na obciążenia ze strony górotworu i bezpieczne utrzymanie wymaganego przekroju wyrobiska. W przypadku nadmiernych obciążeń połączenia zakładkowe umożliwiają zsuwy i nie dopuszczają do zniszczenia odrzwi. Wadą opisywanych połączeń jest znaczny spadek ich nośności po pierwszych zsuwach i związany z tym spadek nośności obudowy. Proponowane rozwiązanie techniczne ma

na celu utrzymanie nośności połączeń zakładkowych na stałym poziomie w całym zakresie zsuwu obudowy.

Wymagania wytrzymałościowe i zasady przeprowadzania badań nośności połączeń elementów obudowy podatnej, realizowanych za pomocą strzemion, określone są polskimi normami. W latach 90. obowiązywała norma PN-G-15000-11 (1991). Zgodnie z nią badaniu podlegają złącza składające się z dwóch prostych odcinków kształtownika, zazwyczaj o długości ok. 1,4 m, złożonych na zakładkę ok. 0,4 m i połączonych strzemionami, których nakrętki dokręca się momentem ustalonym dla danego typu strzemion. Badane złącze umieszcza się na prasie hydraulicznej i obciąża siłą wzdłużną, powodując zsuw z prędkością nie większą niż 10 mm/min, i rejestruje się wielkość obciążenia w funkcji zsuwu. Po pierwszym zsu-



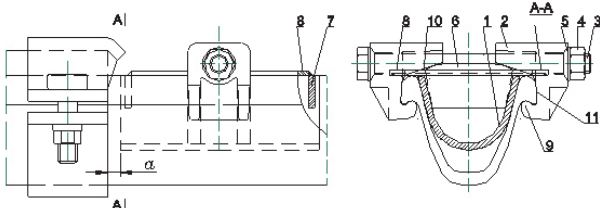
► Rys. 1. Wykres nośności zsuwnej złącza V29 z dwoma strzemiionami SDO29

► Fig. 1. Sliding load capacity chart of the V29 joint with two SDO29 stirrups

wie prasę zatrzymuje się bez zerowania nacisku, nakrętki dokręca ponownie tym samym momentem i jeszcze raz uruchamia się prasę. Badanie kończy się po uzyskaniu łącznego zsuwu 200 mm. W oparciu o zarejestrowane wartości wyznacza się między innymi średnią nośność zsuwną ( $N_{zsr}$ ) obliczoną jako wartość średnia z wielkości nacisku prasy w momencie wystąpienia kolejnego zsuwu (to jest z górnych pików wykresu). Tak wyznaczoną  $N_{zsr}$  przyjmowano jako nośność nominalną złącza. Przy tej wielkości obciążenia złącz zaczynają się zsuwy obudowy. Wielkość tych zsuwów zależy w znacznym stopniu od warunków geologicznych wyrobiska i w praktyce ma niewielki związek z wielkością zsuwów podczas badań na stanowisku badawczym.

Przykładowy wykres nośności zsuwanej złącza (rys. 1) opracowano zgodnie z wymaganiami wspomnianej normy. Badaniom poddano złącze kształtowników V29 połączonych dwoma strzemiionami SDO29, gdzie nakrętki strzemiion dokręcono momentem  $M = 350 \text{ Nm}$ . Z wykresu można odczytać, że maksymalna wartość nacisku prasy wystąpiła w początkowej fazie zsuwu i wyniosła  $N_{max} = 332 \text{ kN}$ , po około 15 mm zsuwu nośność ustabilizowała się na znacznie niższym poziomie. Wartość średnia nośności na całej długości zsuwu wyniosła  $N_{zsr} = 173 \text{ kN}$ . Nośność średnia stanowi zatem 52% nośności w początkowej fazie zsuwu (Ciałkowski B., 1996).

Podobna zależność wystąpiła w trakcie badań nośności połączeń różnych wielkości kształtowników typu V z udziałem powszechnie stosowanych strzemiion typu SD i SDO przeprowadzonych przez autora (Ciałkowski B., 1996). Charakterystyczne są gwałtowne zsuwy i spadki nośności po pierwszym zsuwie. Przyczyny spadku nośności złącza to głównie odkształcenia strzemiion i związane z tym skokowe zmiany docisku łączonych elementów oraz spadek wartości współczynnika tarcia, związany z ruchem oraz przetarciem i dopasowaniem się



► Rys. 2. Blokada BL32 zamontowana przed złączem kształtowników V32

► Fig. 2. BL32 lock mounted in front of the V32 profile connector

powierzchni trących. Współczynnik tarcia ruchowego jest w przybliżeniu o połowę niższy od współczynnika tarcia spoczynkowego.

Od 2017 roku w zakresie badania złącz obowiązuje nowa norma PN-G-15026 (2017). W trakcie badania złącza próbkę należy obciążyć wstępnie do wystąpienia pierwszego zsuwu skokowego lub uzyskania zsuwu ciągłego o długości 10 mm. Następnie należy dokręcić nakrętki strzemiion, próbkę odciążyć, prasę wyzerować i dopiero wtedy rozpocząć rejestrację nośności w funkcji zsuwu. Średnią nośność zsuwną oblicza się, całkując uzyskany wykres, zatem na jej poziom ma wpływ wielkość spadku obciążenia podczas każdego zsuwu. Nośność początkowa nie jest rejestrowana i nie ma wpływu na wynik badania.

Charakterystyka pracy złącza kształtowników typu V (rys. 1) ma niekorzystny wpływ na bezpieczeństwo i trwałość obudowy podatnej wyrobisk chodnikowych. Jeśli obudowa będzie odpowiednio dobrana do konkretnych warunków górniczo-geologicznych, to pierwsze zsuwy w złączach wystąpią przy granicznych obciążeniach obudowy, przy czym nie wystąpią deformacje elementów składowych obudowy, a nośność złącz będzie równa nośności początkowej, to jest  $N_{max}$ . Nośność obudowy będzie zatem w pełni wykorzystana. Następne zsuwy w złączach nastąpią przy występujących w nich siłach wzdłużnych blisko o połowę niższych od początkowych. Nośność obudowy będzie zatem znacznie niższa od początkowej, co grozi zaciskaniem wyrobiska i obniżeniem bezpieczeństwa. Aby temu zaradzić, w praktyce stosuje się okresowe dokręcanie nakrętek strzemiion, jednak jest to praca uciążliwa, mało efektywna i niebezpieczna, gdyż występują przypadki urwania śrub, które są odkształcane w trakcie pracy złącz, co prowadzi do groźnych wypadków. Skuteczniejsze jest stosowanie dodatkowych strzemiion poza złączami zakładkowymi, a w miarę możliwości także wzmocnień obudowy w postaci dodatkowych podciągów i stojaków środkowych.

Nową propozycją rozwiązania problemu utraty wysokiego poziomu nośności połączeń kształtowników obudowy chodnikowej, następującej po pierwszym skokowym zsuwie, jest zastosowanie w złączach dodatkowego elementu konstrukcyjnego, nazwanego blokadą szybkich zsuwów (rys. 2).

Blokadę montuje się na zewnętrznym kształtowniku złącza podatnego. Składa się ona z wkładki (1), dwóch szczęk (2) oraz śruby (3) z nakrętką (4) i podkładkami kulistymi (5). Wkładka o długości 250 mm (umieszczona w kształtowniku obudowy) wykonana jest z blachy i przylega do wewnętrznych powierzchni kształtownika. W środkowej części ma wsporniki (6), natomiast na końcach rozpórki (7). Rozpórki i wsporniki połączone są łącznikami (8), które pełnią rolę kołnierzy oraz ustalają położenie szczęk. Szczęki obejmują kołnierze kształtownika V, mają zaczepy (9), które przylegają do rowków pod kołnierzami kształtownika, oraz ramiona (10), które opierają się na wspornikach wkładki. Mają też powierzchnie (11) przylegające do bocznych powierzchni kołnierzy kształtownika. Szczęki mają otwory przeznaczone dla śruby, przebiegającej ponad kołnierzami kształtownika V i prostopadłej do jego osi symetrii.

Otwory w szczękach zakończone są kulistymi gniazdami, w których umieszczone są podkładki kuliste (5).

W przypadku montażu blokady jednocześnie z montażem złącza wkładkę należy umieścić w odległości  $\alpha$  równej około  $10 \div 15$  mm od końca kształtownika wewnętrznego. Nakrętkę blokady dokręca się wstępnie takim samym momentem jak nakrętki strzemion w złączu. Pod wpływem napięcia śruby ramiona szczęki naciskają na wsporniki i wciskają wkładkę w kształtownik obudowy do zetknięcia łączników z jego kołnierzami. Jednocześnie szczęki naciskają na boczne powierzchnie kołnierzy kształtownika, co powoduje ich ugięcie wraz z bocznymi ściankami wkładki. Po pierwszym zsuwie koniec wewnętrznego kształtownika w złączu styka się z wkładką blokady. Aby przesunąć blokadę wzdłuż kształtownika obudowy, należy pokonać opór tarcia powierzchni elementów blokady dociskanych do kształtownika obudowy oraz opór związany z przesunięciem strefy odkształcenia tego kształtownika. Opór odkształcenia, w przeciwieństwie do oporu tarcia, wzrasta wraz ze wzrostem prędkości i skutecznie wpływa na zahamowanie zsuwu. W miarę potrzeby możliwe jest dokręcenie nakrętki wyższym momentem.

Prototypowe blokady typu BL przebadano w Laboratorium Badań Urządzeń Mechanicznych GIG. Montowano je na stojakach typu SV32 o wysokości 2 m. Badanie prototypu BL20C wykonano zgodnie z normą PN-G-15000/11 (1991), z uwzględnieniem pierwszego zsuwu, a jego wyniki przedstawiono w formie wykresu (rys. 3) (GIG, 2023). Blokadę zamontowano w odległości 43 mm poniżej zakładki złącza. Nakrętki strzemion stojaka i blokady dokręcono momentem 400 Nm. Pierwszy zsuw wystąpił przy obciążeniu  $N_{max} = 304$  kN i wyniósł 11 mm. Zgodnie z normą na odcinku zsuwu  $11 \div 43$  mm średnia nośność zsuwna wyniosła  $N_{zsr} = 162$  kN. Po uzyskaniu 43 mm zsuwu nastąpił wzrost nośności spowodowany oporem zsuwu blokady. Na odcinku zsuwu  $43 \div 105$  mm średnia nośność zsuwna wyniosła 252 kN. Wówczas zatrzymano prasę, dokręcono nakrętkę blokady momentem 500 kN i wznowiono badanie. Na odcinku zsuwu  $105 \div 160$  mm średnia nośność zsuwna równała się 268 kN.

Na rysunku 4 (GIG-2023) przedstawiono wykres nośności zsuwnej stojaka SV32 z prototypem blokady BL20B. Badanie to przeprowadzono zgodnie

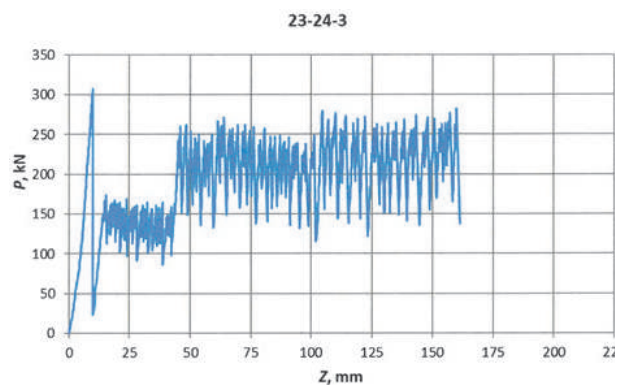
z normą PN-G-15026 (2017). Blokadę zamontowano w odległości 43 mm poniżej zakładki złącza. Nakrętki strzemion stojaka i blokady dokręcono momentem 400 Nm. Na odcinku zsuwu  $0 \div 43$  mm, bez blokady, średnia nośność zsuwna wyniosła 106,5 kN. Na odcinku zsuwu  $43 \div 95$  mm, kiedy działała blokada dokręcona momentem 400 Nm, średnia nośność zsuwna wyniosła 224,4 kN. Po uzyskaniu 95 mm zsuwu prasę zatrzymano i dokręcono nakrętkę blokady momentem 500 Nm. Na odcinku zsuwu  $95 \div 163$  mm nośność średnia wyniosła 257,1 kN, co stanowi 241% nośności stojaka bez blokady.

Analiza wykresów na rysunkach 3 i 4 wskazuje, że zastosowanie blokady znacznie podniosło nośność stojaków. W przypadku badania stojaka z blokadą w wersji BL20C, przeprowadzonego wg PN-G-15000-11 (1991), średnia nośność zsuwna wzrosła ze 162 kN do 268 kN i osiągnęła 88% nośności początkowej, wynoszącej 304 kN. W przypadku badania stojaka z blokadą w wersji BL20B, przeprowadzonego wg PN-G-15026 (2017), średnia nośność zsuwna wzrosła o 151 kN (ze 106 kN do 257 kN). Tak duży przyrost tej nośności uwidacznia, że blokada skutecznie hamuje zsuw. Zgodnie z zastosowaną normą do obliczenia nośności wykorzystywany jest poziom obciążenia prasy w całym zakresie każdego zsuwu – od początku do zatrzymania. Skuteczne hamowanie zsuwu znacznie podniosło poziom nośności średniej stojaka.

Dalsze badania skuteczności działania blokady przeprowadzono na stanowisku zaprojektowanym przez autora, przedstawionym na rysunku 5. Badano blokady wykonane w ramach partii próbnej oznaczone BL32.

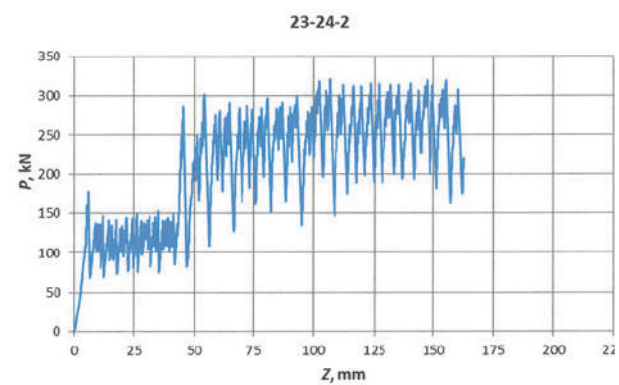
Przedstawiając budowę stanowiska do badania oporu zsuwu, należy podkreślić, że górny odcinek (3) kształtownika V32, gdzie montowano blokadę (4), był przy mocowaniu do podstawy prasy (1) w pozycji pionowej za pomocą strzemienia (2), co eliminowało ewentualny wpływ sił bocznych. Następnie na wkładkę blokady zakładano grubą nakładkę (5), na którą naciskało tłoczysko cylindra hydraulicznego (6). Prędkość przesuwu tłoczyska ustalono na 10 mm/min. Siłę nacisku prasy na blokadę obliczono, uwzględniając sprawność cylindra  $\eta = 0,95$ .

Tym sposobem badano wpływ momentu dokręcenia nakrętki na opór zsuwu blokady po kształtowniku V32. Charakterystyka oporu zsuwu blokady dokręconej mo-



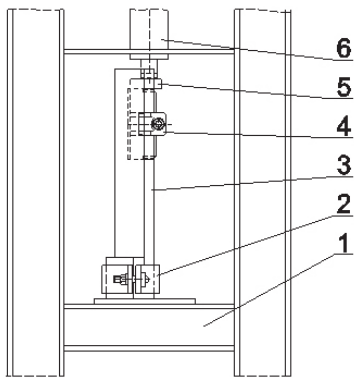
► Rys. 3. Wykres nośności zsuwnej stojaka SV32 z prototypem blokady BL20C

► Fig. 3. Sliding load capacity chart of the SV32 stand with the BL20C lock prototype



► Rys. 4. Wykres nośności zsuwnej stojaka SV32 z prototypem blokady BL20B

► Fig. 4. Sliding load capacity chart of the SV32 stand with the BL20B lock prototype



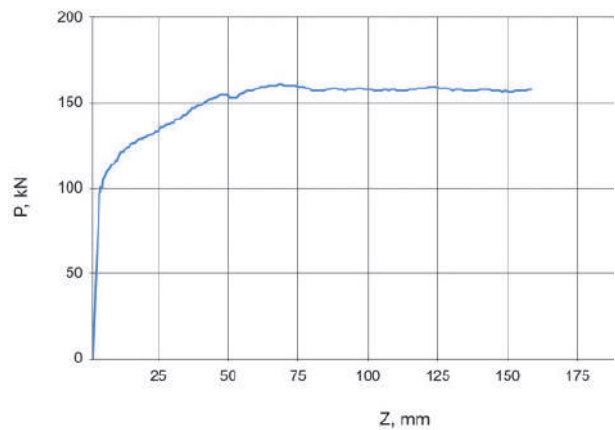
► Rys. 5. Blokada BL32 na stanowisku do badania oporu zsuwu  
 ► Fig. 5. BL32 lock on the slide resistance test stand

mentem  $M_d = 400$  Nm przedstawiona została na rysunku 6, gdzie widoczny jest wzrost oporu zsuwu w zakresie  $100 \div 160$  kN na odcinku wynoszącym około 50 mm. Na dalszym odcinku wykresu opór zsuwu utrzymuje się na poziomie  $155 \div 165$  kN.

Kolejno przedstawiono (rys. 7) charakterystykę oporu zsuwu blokady dokręconej momentem  $M_d = 500$  Nm. Podobnie jak na rysunku 6 widoczny jest wzrost oporu zsuwu na odcinku wynoszącym około 50 mm, w tym przypadku ze 125 kN do 185 kN, a w dalszym zsuwie opór minimalnie spada, a następnie wykazuje tendencję wzrostową do 212 kN.

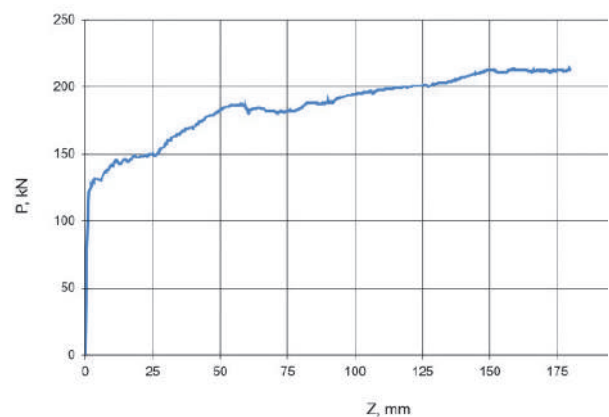
Podsumowując, na wykresach przedstawiających charakterystykę oporu zsuwu blokady BL32 po kształtowniku V32 przy momencie dokręcenia nakrętki o wielkości 400 Nm (rys. 6) i 500 Nm (rys. 7) nie występują gwałtowne spadki nośności, tak charakterystyczne dla nośności złącz widocznych na rysunkach przedstawiających wykres nośności zsuwnej złącza V29 z dwoma strzemiionami SDO29 (rys. 1) oraz wykresy nośności zsuwnej stojaków SV32 z prototypami blokady BL20C (rys. 3) i BL20B (rys. 4). Występują natomiast zsuwy ciągłe i minimalne odprężenia, które były ledwie słyszalne jako trzaski w czasie badań, ale zmiany wartości nośności spowodowane tymi odprężeniami są praktycznie niezauważalne na wykresach. Po zwiększeniu momentu z 400 do 500 Nm nośność maksymalna blokady wzrosła o 28% i przekroczyła 200 kN.

Zdaniem autora uzyskany poziom nośności blokady BL32 jest wystarczający dla utrzymania nośności aktual-



► Rys. 6. Charakterystyka oporu zsuwu blokady BL32 przy  $M_d = 400$  Nm

► Fig. 6. Characteristics of the BL32 locking slide resistance at  $M_d = 400$  Nm



► Rys. 7. Charakterystyka oporu zsuwu blokady BL32 przy  $M_d = 500$  Nm

► Fig. 7. Characteristics of the BL32 locking slide resistance at  $M_d = 500$  Nm

nie stosowanych w budowie chodnikowej złącz, realizowanych głównie za pomocą strzemiion dwujarzmowych, na poziomie nośności początkowej w całym zakresie zsuwu, co niewątpliwie miałyby korzystny wpływ na trwałość i bezpieczeństwo tej obudowy. W następnych etapach badań należy sprawdzić wpływ stosowania blokady na nośność dynamiczną złącz podatnych oraz przeprowadzić badania dołowe.

*Blokada chroniona jest patentem UPRP Nr 248295, właściciel B. Ciałkowski. Prototypy i serię próbną wykonał zakład DKD Zbigniew Kostrzewiński, Chrzanów.*

## A method of increasing the safety of excavations with flexible roadway support (Announcement)

**Abstract:** The currently used overlap joints of the flexible roadway support, made using double-yoke stirrups, lose approximately 50% of their initial load-bearing capacity after the first slides, which creates problems with maintaining the required cross-section of the excavation. A structural element termed a quick slide lock is described, the addition of which to the joint is intended to maintain its high initial load capacity throughout the entire slide range. The course and results of tests of the sliding characteristics of joints of straight sections of the V32 section equipped with locking prototypes, carried out in accordance with Polish standards for testing joints, as well as the results of tests of the sliding resistance of the BL32 locks themselves on the V32 section, carried out on a stand designed by the author, were presented. The test results are positive; the obtained locking resistance level on the V32 profile of  $155 \pm 165$  kN when the nut is tightened with a torque of 400 Nm and of  $200 \pm 210$  kN when the nut is tightened with a torque of 500 Nm is sufficient to maintain the load-bearing capacity of the currently used joints at the initial load-bearing capacity level throughout the entire sliding range. Tests of the slide characteristics of the SV32 prop using a lock, carried out in accordance with PN-G-15026 (2017), showed that the lock significantly inhibits abrupt slides, which significantly increased their average load capacity. In the next stages of the analysis, the effect of using the lock on the dynamic load-bearing capacity of flexible joints should be checked and underground tests should be carried out.

### Literatura

1. Ciałkowski, B. (1996). *Teoretyczne i doświadczalne podstawy konstrukcji złącz obudowy ŁP dla wyrobisk zagrożonych łapaniami*. Praca doktorska (niepublikowana), GIG, Katowice.
2. Główny Instytut Górnictwa (2023). Raport Nr BL-2/23-24, Laboratorium Badań Urządzeń Mechanicznych, GIG, Katowice.
3. Polski Komitet Normalizacyjny (1991). Polska Norma PN-G-1500-11 (1991): Kształtowniki korytkowe proste. Badanie złącz, Warszawa.
4. Polski Komitet Normalizacyjny (2017). Polska Norma PN-G-15026 (2017): Obudowa wyrobisk górniczych. Strzemiona oraz złącza odrzwi z kształtowników korytkowych. Badania wytrzymałościowe. Warszawa.