



Stanowisko i metodyka badań obudowy podporowo-kotwiowej w skali naturalnej

PROP-bolting support study workstation and methodology in full scale

Dr inż. Andrzej Pytlik^{*)}

Treść: W polskich kopalniach węgla kamiennego często stosowana jest obudowa podporowo-kotwiowa, która składa się z odrzwi obudowy podporowej (prostej lub łukowej) oraz połączonych z nimi kotwi. Najczęściej stosuje się przykotwienie stropnicy odrzwi obudowy na skrzyżowaniu ściana-chodnik oraz w rozcinkach ścianowych (Turek i in. 2015).

Odmiennej charakter pracy podatnej obudowy odrzwiowej i kotwi oraz duża złożoność problematyki ich współpracy (Cała i in. 2001; Majcherczyk i in. 2005), utrudniająca obliczenia i symulacje komputerowe, była powodem opracowania w Głównym Instytucie Górnictwa metodyki stanowiskowych badań nośności obudowy podporowo-kotwiowej. Metodyka ta pozwala na określenie wskaźników wzmocnienia odrzwi przez przykotwienie oraz obliczenie pracy (energii) jaką dyssypuje obudowa. Nowa metodyka badań oraz stanowisko badawcze pozwalają na prowadzenie prób na odrzwiach podatnych, z uwzględnieniem odkształcalności kotwi, jak i elementów pośrednich (np. podciągów, jarzm). Wyniki badań mogą być wykorzystane do opracowania zasad doboru obudowy podporowo-kotwiowej do konkretnych warunków geologiczno-górnicznych, przez producentów elementów obudowy podporowej i kotwiowej oraz do optymalizacji konstrukcji obudowy.

W artykule przedstawiono metodykę badań stanowiskowych oraz scharakteryzowano nowe stanowisko badawcze wraz z nową aparaturą. Przedstawiono również wstępne wyniki stanowiskowych badań odrzwi obudowy podporowej typu LP10/V36, wzmocnionej za pomocą kotwi samowiertnych typu GSI R25, przy obciążeniu asymetrycznym. Podobny rodzaj obciążenia może występować na skrzyżowaniu ściana-chodnik, gdzie występuje konieczność wypinania łuku ociosowego.

Pierwsze badania wykazują, że obudowa podporowo-kotwiowa szybko uzyskuje swoją maksymalną nośność, a przez to może zapobiegać rozwarstwianiu skał wokół wyrobiska, co znacząco wpływa na zwiększenie samonośności górotworu. Ponadto stwierdzono, że praca obudowy podporowo-kotwiowej może być prawie 2-krotnie większa od samodzielnej obudowy podporowej na początku jej pracy, tj. do jej obniżenia o 100 mm.

Abstract: The hard coal mines in Poland often employ prop-bolting supports, which are composed of prop support frames (straight or arching) and the roof bolts connected with them. Support frame roof-bar bolting is most commonly employed at the longwall and gallery crossing, and in longwall opening-up works (Turek et al., 2015). The different work character of the yielding frame support and the roof bolts, as well as the great complexity of the problems concerning their cooperation (Cała et al., 2001; Majcherczyk et al. 2005), which makes computer simulations and calculations more difficult, was the reason for developing a workstation-based prop-bolting support load capacity study methodology at the Central Mining Institute. This methodology makes it possible to determine the ratios of frame reinforcement by bolting and to calculate the work (energy) dissipated by the support. The new study methodology and study workstation made it possible to perform tests on yielding frames, while taking into account the deformability of roof bolts and intermediate elements (e.g. horseheads, yokes). The study results may be used to develop prop-bolting support selection guidelines for specific geological and mining conditions, to be utilized by prop and bolting support element manufacturers, as well as for support structure optimization. This paper presents a workstation-based study methodology and characterizes the new study workstation, along with the new apparatus. It also presents the preliminary workstation-based study results of the LP10/V36-type prop support frame, reinforced by the use of GSI R25-type self-drilling roof bolts, under asymmetric load. Similar load may appear at the longwall and gallery crossing, where the necessity to disassemble the sidewall arch occurs. First studies show that the prop-bolting support attains quickly its maximum load capacity, thus it may prevent rock stratification around the working, which significantly influences the increase of the rock mass self-supporting capacity. It was also concluded that the work of prop-bolting support may be nearly two times higher than that of an independent prop support at the beginning of its work, i.e. until its lowering by 100 mm.

Słowa kluczowe:

obudowa podporowa; obudowa podporowo-kotwiowa; kotwie; wskaźnik wzmocnienia obudowy

Key words:

prop support; prop-bolting support; roof bolts; support reinforcement ratio

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice

1. Wprowadzenie

W polskich kopalniach węgla kamiennego często stosowana jest obudowa podporowo-kotwiowa, która składa się z odrzwi obudowy podporowej (prostej lub łukowej) oraz połączonych z nimi kotwi. Najczęściej stosuje się przykotwienie stropnicy odrzwi obudowy na skrzyżowaniu ściana-chodnik oraz w rozcińkach ścianowych (Turek i in. 2015).

Metoda wzmocnienia odrzwi obudowy podporowej poprzez przykotwienie łuku stropnicowego lub ociosowego powoduje wzrost ich nośności (Rułka, Wypchol 1979; Turek 2010; Bezpieczeństwo ... 2012; Turek i in. 2015), co pozwala na ograniczenie liczby stosowanych wzmocnień, tj. stojaki i podciągi oraz zwiększenie rozstawu odrzwi. Przekłada się to na zwiększenie bezpieczeństwa pracy oraz ma to również swój wymiar ekonomiczny, powodując wymierne oszczędności wykonania obudowy (Nierobisz 2006) oraz wzrost perspektyw stosowania kotwi (Turek i in. 2015). Wzmacnianie odrzwi obudowy podporowej, np. typu ŁP za pomocą przykatwania jej elementów powoduje również wzmocnienie górotworu (zmniejszenie rozwarstwienia górotworu), przez co zmniejsza się obciążenie obudowy podporowej (Daniłowicz 2000; Daniłowicz, Skrzyński 2003; Daniłowicz i in. 2006).

Odmiennej charakter pracy podatnej obudowy odrzwiowej i kotwi oraz duża złożoność problematyki ich współpracy (Cała i in. 2001; Majcherczyk i in. 2005), utrudniająca obliczenia i symulacje komputerowe, była powodem opracowania w Głównym Instytucie Górnictwa metodyki stanowiskowych badań nośności obudowy podporowo-kotwiowej. Metodyka ta pozwala na określenie wskaźników wzmocnienia odrzwi przez przykotwienie oraz obliczenie pracy (energii) jaką dyssypuje obudowa.

W artykule przedstawiono metodykę badań stanowiskowych oraz scharakteryzowano nowe stanowisko badawcze wraz z nową aparaturą. Przedstawiono również wstępne wyniki stanowiskowych badań odrzwi obudowy podporowej typu ŁP10/V36, wzmocnionej za pomocą kotwi samowiertnych typu GSI R25, przy obciążeniu asymetrycznym. Podobny rodzaj obciążenia może występować na skrzyżowaniu ściana-chodnik, gdzie występuje konieczność wypinania łuku ociosowego.

Opracowana w Głównym Instytucie Górnictwa nowa metodyka badań oraz stanowisko badawcze pozwalają na prowadzenie prób na odrzwiach podatnych, z uwzględnieniem odkształcalności kotwi, jak i elementów pośrednich (np. podciągów, jarzm). W przyszłości przewiduje się zaimplementowanie wyników badań do modeli numerycznych, wykorzystanych w symulacjach komputerowych, które pozwolą na rozszerzenie analiz na szerszy zakres wariantów obudowy podporowo-kotwiowej. Wyniki badań mogą być wykorzystane do opracowania zasad doboru obudowy podporowo-kotwiowej do konkretnych warunków geologiczno-górnicznych, przez producentów elementów obudowy podporowej i kotwiowej do optymalizacji ich konstrukcji oraz projektantów obudowy górniczej.

2. Metodyka stanowiskowych badań obudowy podporowo-kotwiowej

Metodyka badań oparta została na normie (PN-G-15000-05:1992), w której określono sposób obciążania odrzwi obudowy, przedstawiony na rys. 1.

Siły czynne oraz bierno wywierane są na obudowę za pomocą siłowników hydraulicznych zasilanych z agregatu pompowego. Kotwie można montować do odrzwi bezpośrednio – np. poprzez podciąg lub wykorzystując otwory

w kształtownikach odrzwi. Możliwa jest również zabudowa samych żerdzi kotwi lub żerdzi wklejonych w rury za pomocą ładunków klejowych lub spoiwa cementowego.

Podczas badań można również wywierać obciążenia asymetryczne na odrzwia obudowy poprzez niezależne sterowanie siłownikami hydraulicznymi lub poprzez montaż kotwi asymetrycznie względem odrzwi. Przykładowy schemat stanowiska badania obudowy podporowo-kotwiowej z kotwiami zamontowanymi asymetrycznie do odrzwi przedstawiono na rys. 2a, a widok odrzwi obudowy podporowej ŁP10/V36, wkładanych do stanowiska badawczego, przedstawiono na rys. 2b. W dalszej części artykułu przedstawiono również pierwsze wyniki badań przeprowadzonych przy asymetrycznym rozmieszczeniu kotwi na obwodzie odrzwi.

Stanowisko badawcze wyposażone zostało w aparaturę pomiarową firmy HBM, wyposażoną w niezależne zasilanie akumulatorowe wykonane w Zakładzie Badań Urzędów Mechanicznych GIG. Widok układu pomiarowo rejestrującego przedstawiono na rys. 3.

Wzmacniacz pomiarowy typu QuantumX produkcji firmy HBM połączony został z tensometrycznymi czujnikami ciśnienia zainstalowanymi w siłownikach hydraulicznych, wywierających obciążenie czynne na odrzwia obudowy oraz czujnikiem przemieszczenia mierzącym obniżenie wysokości odrzwi obudowy. Pomiary wykonywano z częstotliwością pomiarową $f_p=10$ Hz. Do pomiaru obciążeń wykorzystano tensometryczne czujniki ciśnienia i siły naciągu kotwi (Pytlik 2014; Pytlik, Pytlik 2014; Pytlik, Pytlik 2016).

W celu porównania nośności obudowy podporowej i podporowo-kotwiowej wyznaczono z otrzymanych wykresów siły w funkcji czasu lub obniżenia wysokości odrzwi obudowy maksymalne siły uzyskane podczas prób. Wskaźnik wzmocnienia obudowy podporowo-kotwiowej q_{pk} wyznaczony jest ze wzoru:

$$q_{pk} = \frac{F_{pkmax}}{F_{pmax}} \quad (1)$$

gdzie:

F_{pkmax} – maksymalna nośność obudowy podporowo-kotwiowej, kN

F_{pmax} – maksymalna nośność obudowy podporowej, kN.

W celu porównania między sobą obydwu typów obudowy obliczana jest jej praca W z wykorzystaniem całkowania numerycznego (metodą trapezów) przebiegów pomiarów $F=f(H)$, ze wzoru:

$$W = \int_0^{100} F(H) dH, \text{ kJ} \quad (2)$$

gdzie:

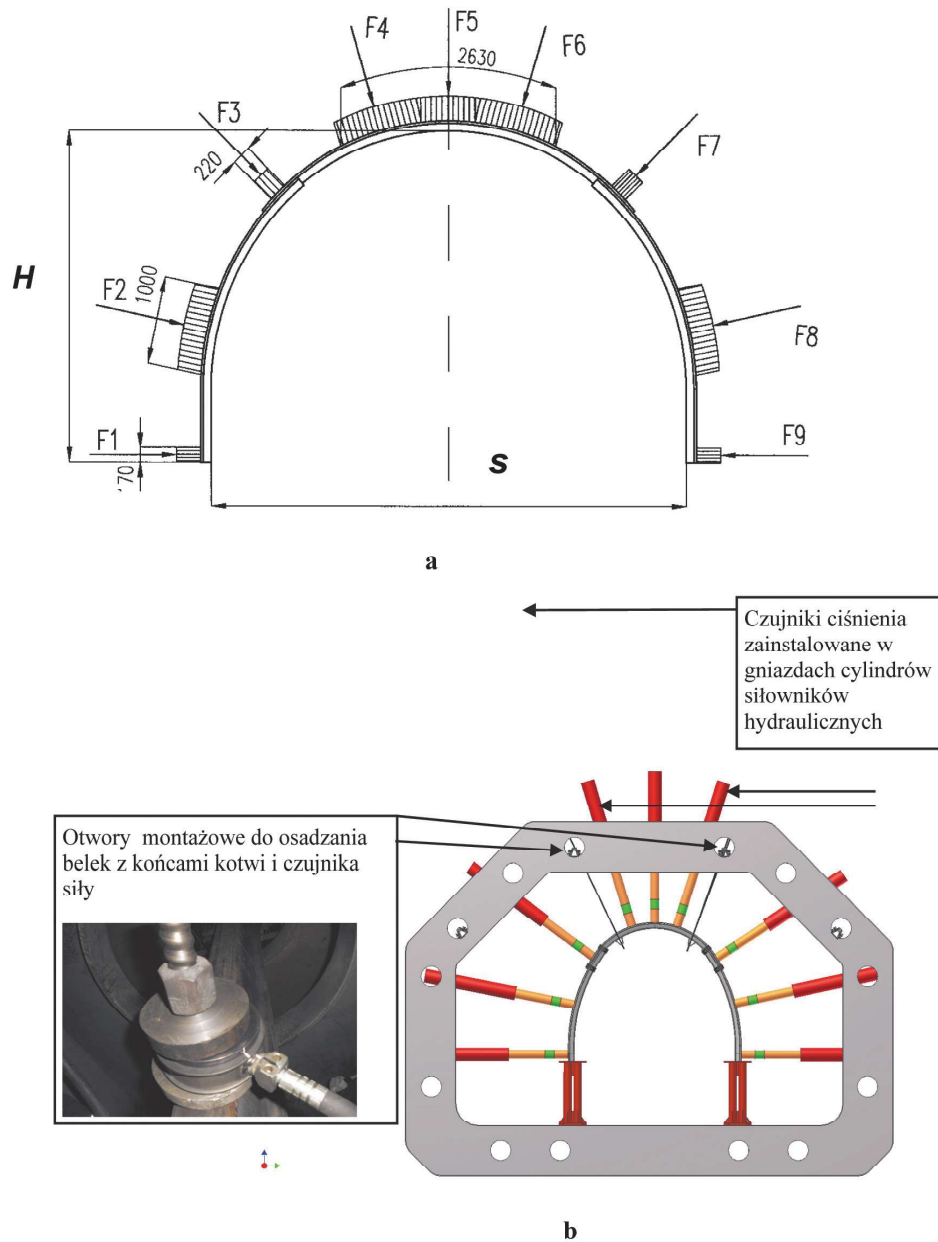
F – mierzona siła obciążająca, kN

H – obniżenie wysokości odrzwi (rys. 1a) obudowy w zakresie od 0 do 100 mm.

3. Wyniki badań

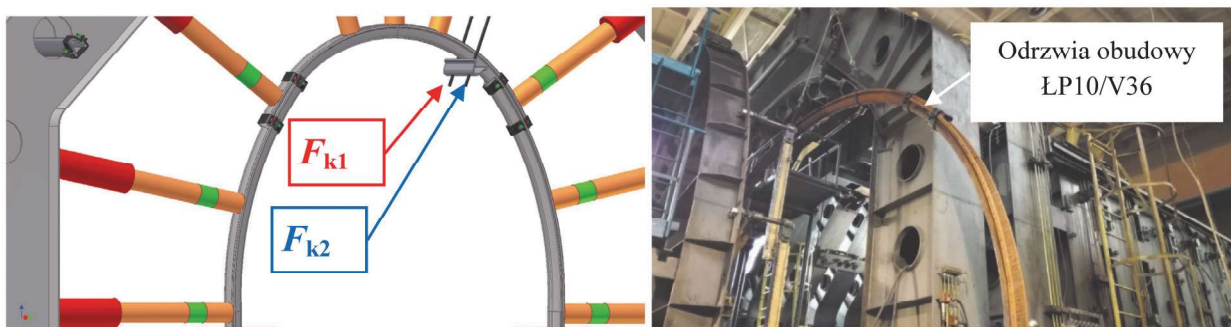
W badaniach użyto odrzwi obudowy typu ŁP10/V36 wykonanych z kształtownika V36 (PN-H-93441-3:2004) ze stali S550W, który ma obecnie największą wytrzymałość spośród stosowanych w polskim górnictwie węgla kamiennego. Odrzwia miały początkową wysokość $w=3770$ mm i szerokość $s=5500$ mm.

Ze względu na swoje bardzo wysokie parametry wytrzymałościowe oraz zwiększoną odporność na działanie korozji, odrzwia tego typu przeznaczone są do stosowania w szczególnie trudnych warunkach geologiczno-górnicznych.



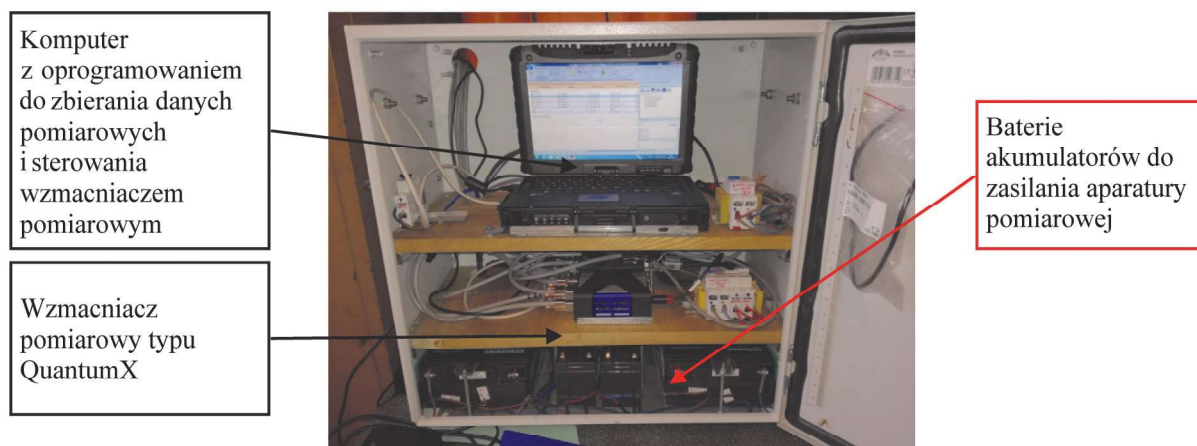
Rys 1. Przykładowy schemat obciążenia odrzwii obudowy: a - podporowej (F_4, F_5, F_6 – siły czynne, $F_1, F_2, F_3, F_7, F_8, F_9$ – siły bierne); b – podporowo-kotwiowej

Fig. 1. Example of support frame load diagram: a - prop support (F_4, F_5, F_6 - effective forces, $F_1, F_2, F_3, F_7, F_8, F_9$ - reaction forces); b - prop-bolting support



Rys. 2. Stanowisko badawcze: a – schemat stanowiska podczas badania obudowy podporowo-kotwiowej w układzie asymetrycznym; b – odrzwia obudowy podporowej LP10/V36

Fig. 2. Study workstation: a - workstation diagram during prop-bolting support study in an asymmetric system; b - LP10/V36 prop support frames



Rys. 3. Układ pomiarowo-rejestrujący
Fig. 3. Measuring and recording system

W badaniach użyto strzemion typu SDOW32/34/36 również o konstrukcji wzmocnionej, a śruby strzemion (klasa 10.9) w złączach dokręcano momentem o wartości $M_d=400$ Nm.

Do wzmocnienia stropnicy odrzwi obudowy podatnej użyto kotwi samowiertnych typu GSI R25, które oprócz swej wysokiej nośności przekraczającej 200 kN, charakteryzują się możliwością wykonywania iniekcji górotworu otaczającego wyrobisko górnicze za pomocą materiałów wiążących o wysokiej wytrzymałości.

Wybranie do testów obudowy podporowej i kotwiowej o bardzo wysokich parametrach wytrzymałościowych miało na celu sprawdzenie ich wypadkowej charakterystyki pracy oraz nośności, które to parametry są bardzo istotne podczas stosowania obudowy w kopalniach na dużych głębokościach.

Na rys. 4 przedstawiono wykresy zależności siły obciążającej F w funkcji obniżenia wysokości H odrzwi obudowy LP10/V36 badanych w stanie podatnym.

Obudowa w początkowej fazie swojej pracy zsuwa się przy stosunkowo niskiej sile ok. 400 kN, a zsuwy mają wartości od kilku do kilkunastu milimetrów. Badanie przerwano po usztywnieniu się złączy odrzwi obudowy.

Na rys. 5 przedstawiono wykresy zależności siły obciążającej F w funkcji obniżenia wysokości H odrzwi obudowy LP10/V36, badanych w stanie podatnym i wzmocnionych

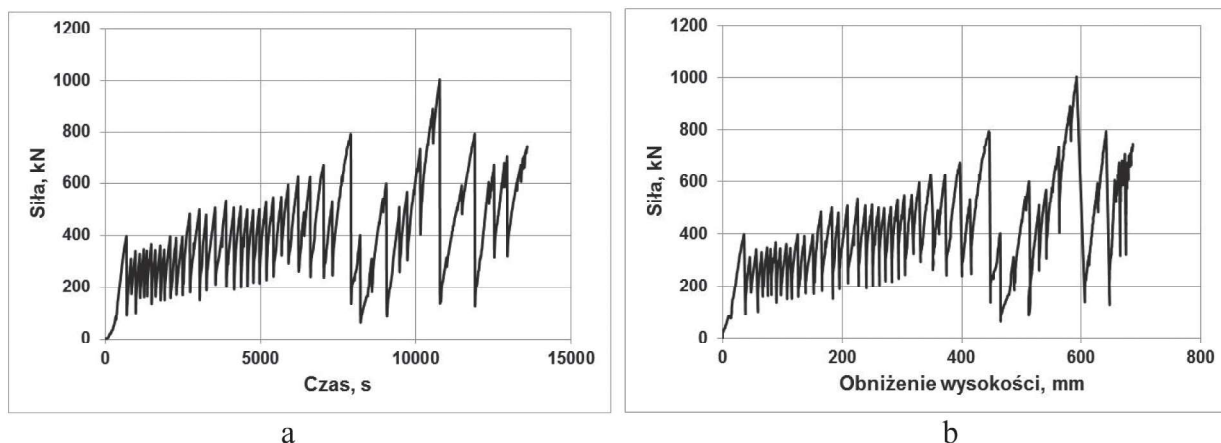
dwoma kotwiami GSI R25 wg schematu przedstawionego na rys. 2a. W badaniu wykorzystano krótkie podciągki z kształtownika V32 (PN-H-93441-3:2004), wykonanego ze stali S480W.

Na rys. 6 przedstawiono uzupełniony wykres z rys. 5a o przebiegi sił w kotwiach.

Wyraźne spadki nośności siły obciążającej F są związane z zsuwami odrzwi obudowy i mają one dynamiczny charakter. Moment zniszczenia kotwi nastąpił po ok. 2000 s badania.

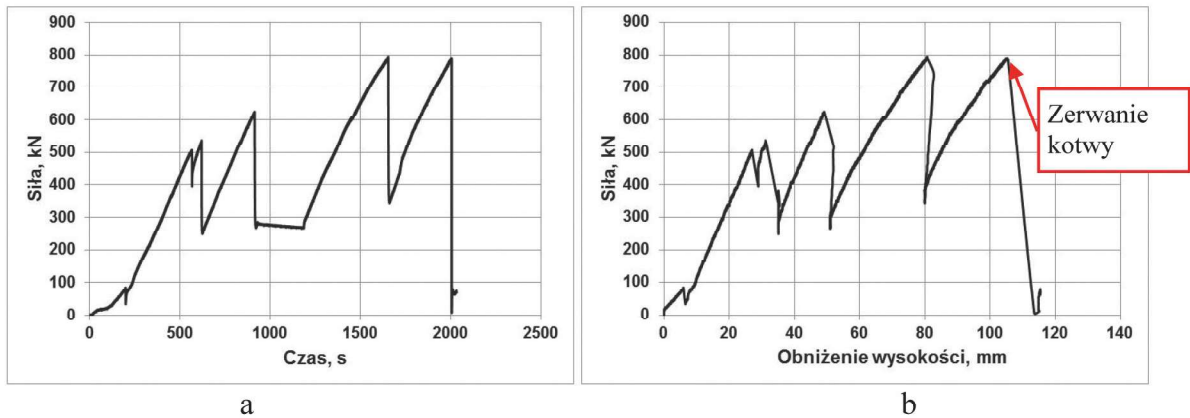
Obudowa pracowała w układzie niesymetrycznym, to znaczy wzmocniana była stropnica tylko w rejonie jednego złączy (schemat obciążenia na rys. 2a). Taka sytuacja powodowała, że zsuwy odrzwi obudowy wystąpiły tylko w drugim złączy (bez wzmocnienia) i miały one wartość kilkudziesięciu milimetrów. Badanie przerwano po zerwaniu kotwi. Po badaniu nie zaobserwowano deformacji podciągów z kształtownika V32. Typowe uszkodzenie żerdzi kotwi Fk2 przedstawia rys. 7.

Wyniki badania obudowy podporowej LP10/V36 i podporowo-kotwiowej LP10/V36 z dwoma kotwiami GSI R25 (w układzie asymetrycznym) przedstawiono w tabeli 1.



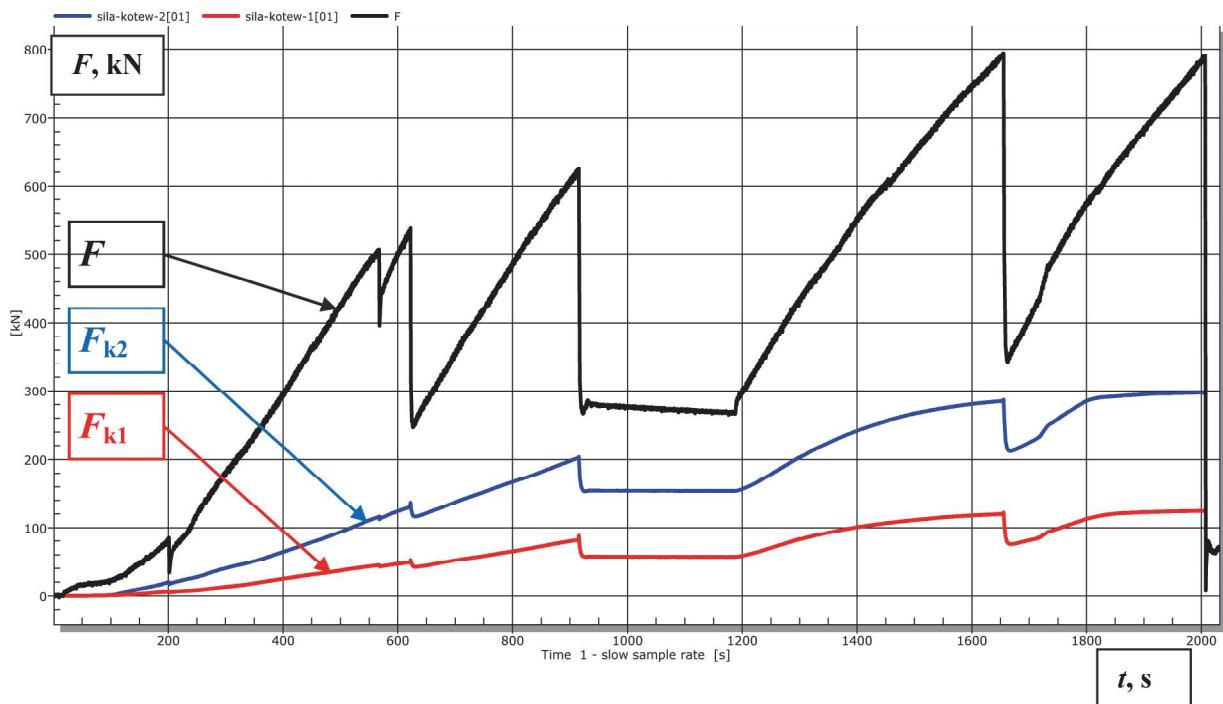
Rys. 4. Wykresy zależności: a - siły obciążającej F w funkcji czasu t ; b - siły obciążającej F w funkcji obniżenia wysokości H odrzwi obudowy LP10/V36 w stanie podatnym; $F_{\max}=1003,0$ kN; $W=23,41$ kJ do 100 mm

Fig. 4. Dependence charts: a - loading force F as a function of time t ; b - loading force F as a function of lowering height H of the LP10/V36 support frame in a yielding state; $F_{\max}=1003.0$ kN; $W=23.41$ kJ up to 100 mm



Rys. 5. Wykresy zależności: a - siły obciążającej F w funkcji czasu t ; b - siły obciążającej F w funkcji obniżenia wysokości H odrzwi obudowy ŁP10/V36 w stanie podatnym, wzmocnionych dwoma kotwiami typu GSI R25; $F_{\max} = 794,7$ kN; $W = 45,955$ kJ do 100 mm

Fig. 5. Dependence charts: a - loading force F as a function of time t ; b - loading force F as a function of lowering height H of the ŁP10/V36 support frame in a yielding state, reinforced with two GSI R25-type roof bolts; $F_{\max} = 794,7$ kN; $W = 45,955$ kJ up to 100 mm



Rys. 6. Wykresy zależności siły obciążającej odrzwia F oraz sił w kotwiach w funkcji czasu t

Fig. 6. Dependence charts of the frame loading force F and the forces in the roof bolts as a function of time t



Analiza otrzymanych przebiegów obciążania obudów oraz wyników zestawionych w tablicy 1 wykazała, że wartość wskaźnika wzmocnienia w stosunku do obudowy podporowej wynosi $q_{pk} = 1,99$ w zakresie do 100 mm obniżenia odrzwi obudowy podporowej ŁP10/V36 (rys. 4). Analiza wykresów pracy obudowy przedstawiona na rys. 4 i 5 wykazała również, że obudowa podporowo-kotwiowa i podporowa mają podobną podporność w granicach 800 kN, gdy obniżenie obudowy podporowej osiąga wartość ok. 450 mm.

Analiza porównawcza pracy obydwu typów obudowy wykazała, że podobnie jak wskaźnik wzmocnienia nośności $q_{pk} = 1,99$ w zakresie do 100 mm obniżenia, również praca W

Rys. 7. Uszkodzenie żerdzi kotwy po badaniach
Fig. 7. Roof bolt rod damage after studies

Tabela 1. Zestawienie wyników badań porównawczych
Table 1. Comparative study results

Typ obudowy	Maksymalna nośność obudowy do 100 mm jej obniżenia F_{max} , kN	Wskaźnik wzmocnienia obudowy (do 100 mm obniżenia odrzwi) q_{pk}	Praca obudowy W , kJ
Obudowa podatna ŁP10/V36	400	1	23,41
Obudowa podatna ŁP10/V36 +2 kotwie GSI R25 (podciąg: V32)	795	1,99	45,96

obudowy podporowo-kotwiowej osiągnęła wartość prawie 2-krotnie większą od pracy obudowy podporowej (23,41 kJ).

4. Podsumowanie

Opracowana metodyka stanowiskowych badań obudowy podporowo-kotwiowej oraz zmodernizowane stanowisko badawcze pozwalają na wyznaczenie jej wypadkowych charakterystyk nośności w funkcji czasu oraz obniżenia odrzwi obudowy.

Uzyskane pierwsze wyniki badań w postaci charakterystyk pracy obudowy podporowej i podporowo-kotwiowej wykazują, że stosowanie obudowy podporowo-kotwiowej w trudnych warunkach górniczo-geologicznych, jakie występują na skrzyżowaniu ściana-chodnik, może znacząco poprawić stateczność obudowy. Obliczone wskaźniki wzmocnienia obudowy podporowej osiągają wartość 1,99 dla pierwszych 100 mm obniżenia obudowy.

Wyniki badania wykazują również, że obudowa podporowo-kotwiowa szybko uzyskuje swoją maksymalną nośność, a przez to może zapobiegać rozwarstwianiu skał wokół wyrobiska, co znacząco wpływa na zwiększenie samonośności górotworu. Ponadto stwierdzono, że praca obudowy podporowo-kotwiowej może być prawie 2-krotnie większa od samodzielnej obudowy podporowej na początku jej pracy, tj. do jej obniżenia o 100 mm.

Badania obudowy podporowo-kotwiowej będą kontynuowane dla zmiennych schematów obciążenia i sposobów zamocowania kotwi, w zależności od potrzeb wynikających z rzeczywistych warunków obciążenia obudowy zaistniałych w kopalniach. Metodyka badań będzie również doskonalona w celu określenia wszystkich niezbędnych parametrów technicznych obudowy, które mogą posłużyć do opracowania modelu matematycznego pracy obudowy.

Literatura

Bezpieczeństwo obudowy podporowo-kotwiowej w warunkach występowania wstrząsów górotworu. Praca zbiorowa pod redakcją Mariana Turka. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2012.

CAŁA M., FLISIAK J., TAJDUŚ A. 2001 - Mechanizm współpracy kotwi z górotworem o zróżnicowanej budowie. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Seria z lampką górniczą nr 8. Kraków.

DANIŁOWICZ R. 2000 - Badania możliwości wzmocniania skał kotwiami w kopalniach węgla. „Przeгляд Górnicy” nr 2, s. 33-37.

DANIŁOWICZ R., PRUSEK S., SKRZYŃSKI K. 2006 - Sposoby wzmocniania górotworu i obudowy w rejonie wyrobisk eksploatacyjnych. W: Stalowe obudowy odrzwiowe. Nowe rozwiązania konstrukcyjne i metody projektowania. Praca zbiorowa pod redakcją Kazimierza Rulki. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, s. 245-274.

DANIŁOWICZ R., SKRZYŃSKI K. 2003 - Określenie współczynnika wzmocnienia górotworu za pomocą kotwi w wyrobiskach korytarzowych. „Przeгляд Górnicy” nr 3, s. 8-11.

MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDEBALSKI Z. 2005 - Badania obciążeń obudowy w wybranych wyrobiskach korytarzowych. „Górnictwo i Geoinżynieria” z. 3/1, s. 289-298.

NIEROBISZ A. 2006 - Obudowa podporowo-kotwiowa dla rozcięć ruchomych ścian - przykłady zastosowań. Nowoczesne Technologie Górnicze 2006. Problemy Utrzymania Wyrobisk Korytarzowych. Politechnika Śląska w Gliwicach. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa. Gliwice, Ustroń 20 i 21 kwiecień 2006 r., s. 131-155.

PN-G-15000-05:1992 – Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe otwarte. Badania stanowiskowe.

PN-H-93441-3:2004 – Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa. Kształtowniki typu V. Wymiary.

PYTLIK A., PYTLIK M. 2014 - Podkładka do pomiaru i monitoringu siły naciągu kotwi górniczych. Wynalazek nr P.404320. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

PYTLIK A., PYTLIK M. 2016 - Czujniki do monitoringu siły naciągu kotwi górniczych przy obciążeniu statycznym i dynamicznym. „Przeгляд Górnicy” nr 11, s. 38-47.

PYTLIK M. 2014 - Project and construction of force sensor for tension measurements of mining bolts, designed to be used in static and dynamic load conditions. Praca magisterska. Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki. Gliwice.

TUREK M. 2010 - Podstawy podziemnej eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

TUREK M., PRUSEK S., MASNY W. 2015 - Obudowa podporowo-kotwiowa w kopalniach węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

Artykuł wpłynął do redakcji – czerwiec 2017
 Artykuł akceptowano do druku 7.07.2017