

Jarosław BRODNY  
Politechnika Śląska, Gliwice

## METODY BADAŃ OBUDÓW ODRZWIOWYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiane zostały wybrane metody badania obudów odrzwiowych wyrobisk korytarzowych. Analiza obejmuje badania stanowiskowe przy obciążeniach statycznych i dynamicznych oraz badania w warunkach rzeczywistych. Badania te poprzedzone są najczęściej analizami analityczno-numerycznymi, obecnie szeroko stosowanymi. Badaniom poddaje się także poszczególne elementy obudowy, takie jak: kształtowniki, strzemiona, rozpory stabilizujące oraz połączenia cierne. Przedstawione badania są częścią spośród wielu obecnie prowadzonych.

## METHODS OF TESTING DOUBLE TIMBER (ARCH) SUPPORTS OF DOG HEADINGS

**Summary.** This paper presents the selected methods of testing double timber supports of dog headings. This analysis comprises both static and dynamic tests as well as tests in real conditions. These tests are most frequently preceded by analytical-numerical analyses, which are widely applied nowadays. Particular elements of the support such as steel sections, stirrups, stabilizing sprags and frictional connections also undergo tests. Presented tests belong to a series of those carried out at present.

### 1. Wprowadzenie

W polskich kopalniach węgla kamiennego wyrobiska korytarzowe najczęściej zabezpieczane są za pomocą obudowy, wykonanej z łukowych podatnych odrzwi ŁP. Łukowe odrzwia ŁP wykonywane są głównie z kształtowników typu V, a ich podatność realizowana jest w ciernym złączu. Cierne złącza są wykonane w postaci dwóch kształtowników typu V połączonych za pomocą strzemion, których budowa pozwala na zmianę siły oporu złącza w zależności od momentu dokręcenia nakrętek śrub strzemion.

Zasadniczym celem obudowy jest zapewnienie stateczności wyrobiska w całym założonym okresie jej użytkowania. Przez zapewnienie stateczności wyrobiska rozumie się zachowanie wymaganych wymiarów jego przekroju poprzecznego, a także zabezpieczenie załóg górniczych oraz urządzeń przed zawałami i obrywającymi się odłamkami skalnymi. Wybór typu obudowy w każdym przypadku jest podyktowany zadaniami, jakie ma ona spełniać.

W ciągu całego, poprawnie prowadzonego procesu konstruowania obudowy wyrobisk korytarzowych, badania nowo powstających konstrukcji muszą przeplatać się z pracami projektowymi. Powstałe sprzężenie zwrotne między konstruowaniem a badaniami pozwala na pełniejsze zaspokojenie potrzeb i wymagań odbiorcy. Podstawowymi metodami badawczymi, stosowanymi w trakcie prac projektowych są, według kolejności, w jakiej mogą być zastosowane:

- badania i obserwacje dołowe,
- badania analityczne i z wykorzystaniem metod numerycznych,
- badania stanowiskowe, przeprowadzone zarówno w naturalnej skali, jak i na modelach,
- badania w warunkach rzeczywistych.

Ze względu na rodzaj obciążenia obudowy badania mogą być podzielone na:

- badania statyczne,
- badania dynamiczne.

Badaniom poddaje się całe odrzwia, zestawy odrzwi, jak i poszczególne ich elementy, takie jak:

- proste i łukowe odcinki kształtowników,
- cierne złącza,
- strzemiiona i inne elementy dodatkowe, np. rozpory.

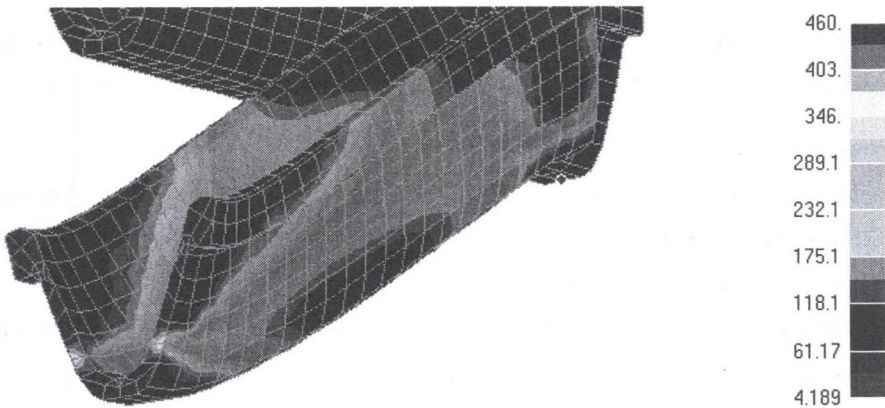
## **2. Badania analityczne i z wykorzystaniem metod numerycznych**

Wraz z rosnącymi możliwościami technicznymi i obliczeniowymi, coraz większe znaczenie dla projektowania i analizy zachowania się układu obudowa - górotwór mają metody komputerowe. Przy badaniach obudów szczególne zastosowanie mają metody elementów skończonych (MES) i metody elementów brzegowych (MEB).

MES jest obecnie jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod numerycznej analizy wytrzymałościowej różnych elementów. Należy jednak zauważyć, że jak w każdej metodzie

modelowej istotne znaczenie ma sposób dobierania modelu. Poprawności przyjętego modelu, jego odpowiednia dyskretyzacja, mają istotny wpływ na otrzymane wyniki.

W pracy [12] przedstawiono analizę różnych sposobów modelowania zginania prostego odcinka kształtownika V, z zastosowaniem elementów o wariantowych gabarytach. Uzyskane wyniki wykazały zależność między stopniem dyskretyzacji a otrzymanymi wynikami. Jednak ze względu na efektywność, uniwersalność i szerokie możliwości stosowania, MES ma duże zastosowanie w analizie wytrzymałościowej obudowy odrzwiowej, np. w pracach [1,14]. Na rysunku 1 przedstawiony został przykład wyznaczenia rozkładu naprężeń w najbardziej wyłożonym przekroju odrzwi wykonanych z kształtownika V25 [1].



Rys. 1. Rozkład naprężeń w przekroju profilu V25 [1]

Fig. 1. Diagram of stress distribution at the mostly loaded timbering section [1]

W ostatnim okresie coraz większe zastosowanie ma metoda elementów brzegowych. Jej niezaprzeczną zaletą jest uproszczony podział na elementy, możliwość rozwiązywania zagadnień kontaktu z uwzględnieniem tarcia, co ma szczególne znaczenie przy analizie złączy ciernych. Możliwości jej zastosowania w geomechanice zostały ujęte w pracy [2].

### 3. Udarowe metody badań obudów odrzwiowych

Badania obudów przy obciążeniach dynamicznych, do których zaliczamy badania udarowe należą do najbardziej skomplikowanych. Wymagają zarówno odpowiedniego przygotowania całego procesu badawczego, jak i odpowiedniego stanowiska. Należą do grupy badań niszczących i niezwykle kosztownych. Szczególnie dla obudów zagrożonych

obciążeniami dynamicznymi od strony górotworu mają one kolosalne znaczenie. Stanowisko do badań kafarowych Głównego Instytutu Górnictwa zlokalizowane jest w Łaziskach i jest jedynym takim stanowiskiem w Polsce[15].

a) Udarowe badanie prostych odcinków kształtowników

Badanie wytrzymałości na zginanie pod obciążeniem dynamicznym polega na uderzeniu w badany element swobodnie spadającą masą obciążnika i dokonaniu pomiarów skutków tego uderzenia. Spadający obciążnik uderza w trzpień z nakładką, powodując zginanie badanego kształtownika. Punkt przyłożenia siły uderzenia znajduje się w osi symetrii kształtownika ułożonego na dwóch podporach. W trakcie badań dokonuje się pomiaru strzałki ugięcia i wielkości reakcji podpór.

Celem tych badań jest określenie odporności kształtowników na działanie bocznych obciążeń dynamicznych. Jest to istotne przy obciążeniach od strony ociosu wyrobiska.

b) Dynamiczne badania złącza prostych odcinków kształtowników

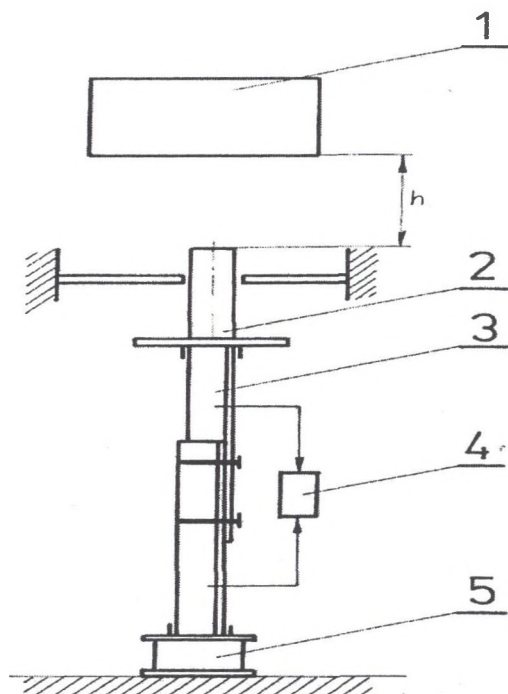
Udarowe badanie złącza elementów odrzwi ma na celu sprawdzenie ich odporności na obciążenie dynamiczne i polega na uderzeniu w złącze swobodnie spadającą masą obciążnika oraz określenie skutków tego uderzenia.

Celem badań jest określenie zależności siły i zsuwu w funkcji czasu, co ma istotne znaczenie dla poprawnej pracy złącza, jako najsłabszego elementu odrzwi.

c) Udarowe badanie całych odrzwi

Udarowe badanie całych odrzwi ma na celu sprawdzenie ich odporności na pionowe obciążenie dynamiczne i polega na uderzeniu w nieobciążone lub wstępnie obciążone odrzwia masą obciążnika oraz określenie skutków tego obciążenia. Badane odrzwia usytuowane są wewnątrz konstrukcji stabilizującej, uniemożliwiającej jej przemieszczanie się w kierunku prostopadłym do jej płaszczyzny działania. Na obwodzie odrzwi rozmieszczone są symetrycznie elementy naciągowe, które jednocześnie ustalają położenie odrzwi w osi symetrii konstrukcji stabilizującej, symulując statyczne obciążenie odrzwi.

Takie połączenie elementów zespołu napinającego pozwala na swobodną zmianę długości i kąta położenia elementów naciagowych w momencie ugięcia odrzwi pod działaniem obciążnika. Po uniesieniu do góry i zwolnieniu uchwytu spadający wzdłuż prowadnic obciążnik uderza w belkę prowadzącą nakładki, powodując dynamiczne ściskanie odrzwi. Dokładny opis stanowiska i przebiegu badań został przedstawiony w pracy [16].



Rys. 2. Schemat badania złącza obciążonego udarem masy [15]

Fig. 2. Scheme of testing method of straight section of a steel section loaded with mass stroke [15]

#### 4. Badania stanowiskowe

Podstawowym celem badań stanowiskowych jest weryfikacja konstrukcji pod względem jej wytrzymałości (nośności). Badania przeprowadza się w dwóch kierunkach:

- określenie nośności odrzwi (zarówno w stanie podatnym, jak i usztywnionym),
- określenie podatności obudowy na działanie obciążeń statycznych.

Badania odrzwi obudowy w skali naturalnej przeprowadza się na dwóch stanowiskach. Jedno ze stanowisk zlokalizowane jest na Wydziale Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach, a drugie w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach.

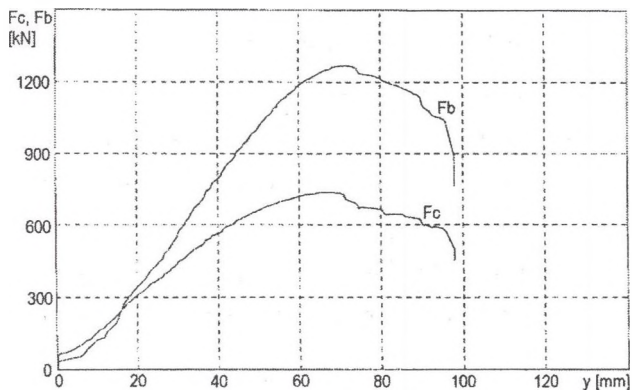
Stanowisko znajdujące się w Politechnice Śląskiej [4], służy do określenia nośności i przebiegu deformacji pojedynczej odrzwi stalowej o różnych kształtach i wymiarach do średnicy 5,3 m.

Stanowisko do statycznych badań odrzwi zlokalizowane w GIG-u [6, 7] ma znacznie większe możliwości badawcze, zarówno pod względem technicznym, jak i pomiarowym. Na stanowisku tym wyznaczono główne czynniki, mające wpływ na nośność odrzwi,

charakterystyki obciążeniowo-deformacyjne i zsuwne. Określony został stosunek pomiędzy nośnością roboczą (zsuwną) odrzwi a maksymalną nośnością odrzwi (w stanie usztywnionym), który zgodnie z wynikami tych badań powinien zawierać się w przedziale 0,5-0,6. Umożliwia to zachowanie podatności obudowy podczas jej pracy. Zwiększenie wartości tego stosunku może spowodować zablokowanie, a w dalszej konsekwencji deformacje łuków odrzwi, prowadzącej do utraty ich stateczności.

Badania przeprowadza się zgodnie z założeniami normy PN-92/G-15000/05. W normie tej dokładnie określone są warunki, jakie muszą zostać spełnione dla poprawnego przeprowadzenia badań. Odrzwia obciążane są siłami czynnymi na długości 0,65 swobodnej długości łuku stropnicowego (długość pomniejszona o wielkości zakładek). Dodatkowo odrzwia podparte są siłownikami w sześciu miejscach. W ten sposób realizowane jest oddziaływanie ociosu na odrzwia. Badana konstrukcja nie ma możliwości przemieszczenia się w kierunku osi wyrobiska. Pozwala to na skrócenie długości wybozeniowej elementów oraz utrzymanie odrzwi w jednej płaszczyźnie, przez co zagadnienie zostaje sprowadzone do płaskiego.

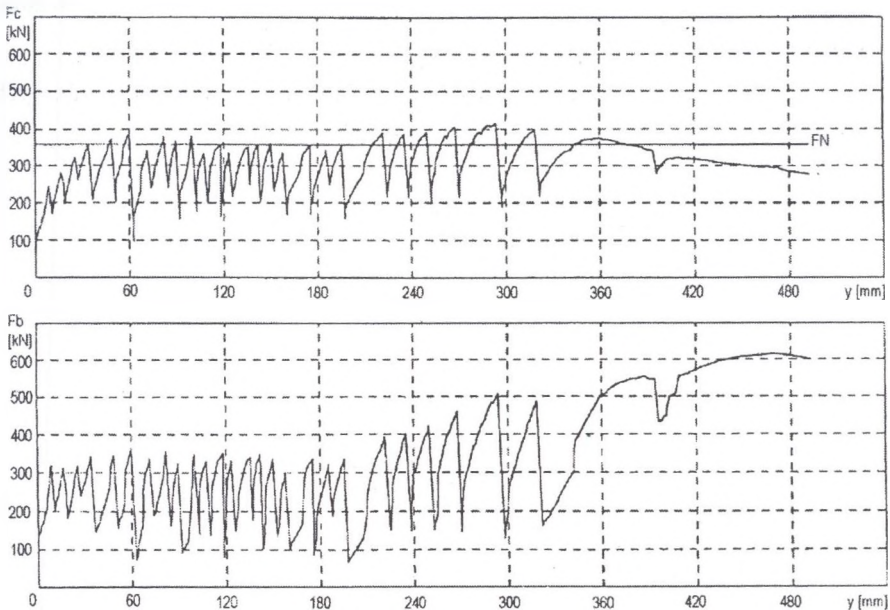
Odrzwia badane są w dwóch stanach: w stanie usztywnionym i w stanie podatnym. W pierwszym przypadku uzyskuje się charakterystykę deformacyjną odrzwi jako sztywnych, pozwalającą na określenie nośności w przypadku zablokowania złączy we wstępnej fazie pracy odrzwi (przed wystąpieniem zsuwów w warunkach dołowych). Badanie to pozwala na przeprowadzenie wielu porównań układu fizycznego z jego modelem numerycznym, omijając w ten sposób złożony proces związany z modelowaniem zsuwu. Przykładową charakterystykę odrzwi usztywnionych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Charakterystyka odrzwi badanych w stanie usztywnionym  $F_c$ - obciążenie czynne,  $F_b$ - obciążenie bierne  
 Fig. 3. Characteristic of timber frame tested in stiffened state  $F_c$  - active load,  $F_b$  - static load

Badania odrzwi w stanie podatnym pozwalają na ocenę ich zachowania w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Wynikiem jest charakterystyka robocza odrzwi, określająca między innymi maksymalną i roboczą nośność odrzwi oraz zsuwy. Przykładową charakterystykę roboczą odrzwi przedstawiono na rys. 4.

Bardzo istotne znaczenie dla prawidłowego zabezpieczenia wyrobiska ma stateczność obudowy. Poprzez stateczności rozumiemy odporności obudowy na obciążenie siłami działającymi prostopadle do płaszczyzny przekroju wyrobiska. Badania stanowiskowe obudowy, jako układu przestrzennego z uwzględnieniem elementów stabilizujących, mają na celu określenie wpływu zastosowanych rozpór na stateczność obudowy. Przeprowadzone są z ukierunkowaniem na określenie charakterystyki obudowy w układzie obciążenie osiowe obudowy – odchylenie odrzwi od pierwotnej płaszczyzny. Badania te zostały przeprowadzone w GIG, a ich wyniki przedstawione w pracach [13, 17]. Celem tych badań było określenie wpływu różnego typu rozpór na proces stabilizacji obudowy.



Rys. 4. Przykładowa charakterystyka robocza odrzwi  $F_c$  – obciążenie czynne,  
 $F_b$  – obciążenie bierne, FN – robocza nośność odrzwi  
 Fig. 4. Exemplary operating characteristic of timber frame

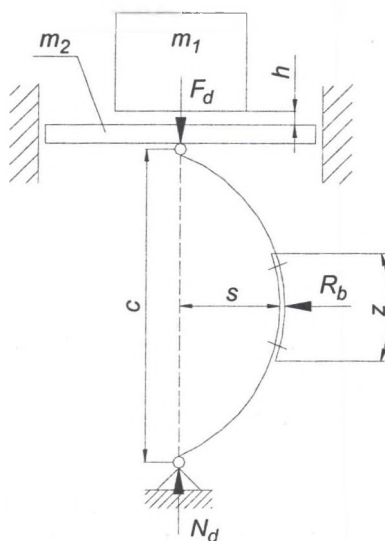
Szczegóły badań stanowiskowych odrzwi zawarte zostały w normie PN-92/G-15000/05, jak i w pracach [6, 3].

Oprócz badania całych odrzwi przeprowadza się także szereg badań poszczególnych elementów obudowy, takich jak: rozpory, strzemiona itd.

W pracy [5] przedstawione zostały wyniki badań wytrzymałościowych prostych odcinków profilu V25, obciążanych siłą poprzeczną do osi podłużnej profilu. Badania prowadzone były bez i z uwzględnieniem tarcia. W wyniku tych badań określono wpływ tarcia pomiędzy kołnierzem profilu a płytą dociskową (ociosem) na wartość siły obciążającej i na deformacje kształownika.

W pracy [11] przedstawiono pełną analizę pracy ciernych złącz łukowych odrzwi, poddanych obciążeniom statycznymi i dynamicznym. Badania zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym GIG. Na ich podstawie można stwierdzić, że istotny wpływ na nośność i charakterystykę pracy złącz ciernych ma wartość występującego w złączach momentu zginającego. Wykazano również, że wartości nośności ciernych złączy jest w istotny sposób uzależniona od charakterystyki biernego odporu w bezpośrednim sąsiedztwie złączy.

Na rysunku 5 przedstawiony został przykładowy schemat badania ciernych złączy łukowych odporem biernym, przy obciążeniu dynamicznym za pomocą udaru masy.

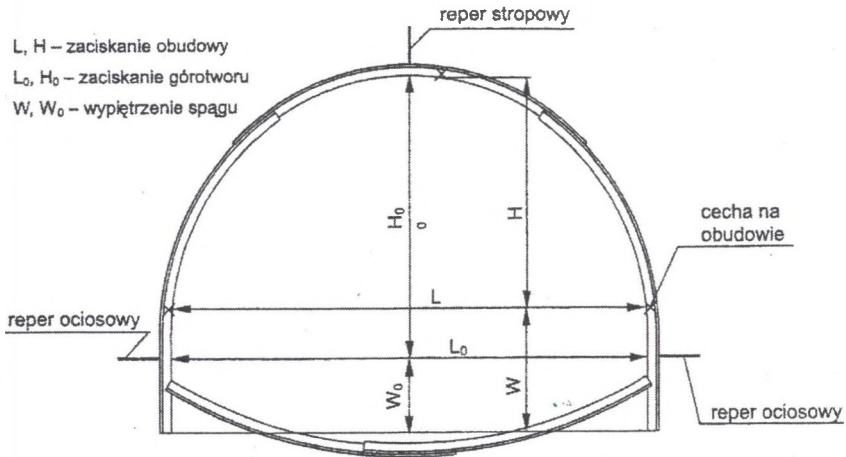


Rys. 5. Schemat obciążenia złącza łukowego przy badaniu dynamicznym [11]  
Fig. 5. Load scheme of arch joint during dynamic tests



## 5. Metody badań obudów odrzwiowych wyrobisk korytarzowych w warunkach rzeczywistych

Badania obudów odrzwiowych wyrobisk korytarzowych w warunkach rzeczywistych nie należą do łatwych. Wymagają odpowiedniego przygotowania teoretycznego, jak i specjalistycznej aparatury. Badania te należą do badań kosztownych i przeprowadzane są w różnym zakresie. Najczęściej mają one na celu sprawdzenie szeroko rozumianej funkcjonalności odrzwi oraz możliwości i łatwości ich zabudowy. Przeprowadza się je w wytypowanym wyrobisku, dla którego określa się wartości obciążeń, a następnie dobiera odpowiedni rozstaw odrzwi. W trakcie badań rejestruje się za pomocą dynamometrów faktyczne, działające obciążenie oraz zmiany geometrii obudowy i zsuwy w złączach. Uzyskane w ten sposób informacje są podstawą do dopuszczenia nowych konstrukcji odrzwi do stosowania w podziemnych zakładach górniczych.



Rys. 6. Schemat pomiaru deformacji odrzwi  
 Fig. 6. Scheme of measuring timber frame deformation

Zasady pomiaru deformacji odrzwi przedstawiono na rysunku 6.

W pracach [8,9] przedstawiane zostały wyniki pomiarów dołowych obciążenia i zaciskania wyrobisk korytarzowych. Badania te przeprowadzane są w chodnikach przyścianowych. Ze względu na trudne warunki występowania ciśnień eksploatacyjnych można w sposób prawie ciągły monitorować obciążenia i odkształcenia obudowy.

Trudności z trzymaniem chodników przyścianowych powodują, iż od wielu lat prowadzone są prace badawcze, mające na celu poznanie zjawisk zachodzących w tych wyrobiskach i ich wpływu na obudowę chodnikową.

W Głównym Instytucie Górnictwa prowadzony jest szereg pomiarów dołowych w chodnikach przyścianowych, mających na celu określenie zarówno obciążeń, jak i odkształceń obudowy chodnikowej. Wyniki i dokładne warunki przeprowadzanych badań zostały ujęte w pracach [8, 9, 10].

Badania stateczności obudowy również zostały przeprowadzane w warunkach rzeczywistych. Były to badania stateczności pojedynczych odrzwi. Ich celem było określenie siły potrzebnej do przemieszczenia odrzwi wzdłuż osi wyrobiska oraz siły niezbędnej do przewrócenia odrzwi obciążonych przez górotwór. Badania przeprowadzono z ukierunkowaniem na określenie stabilizacji wyodrębnionych z obudowy odrzwi, połączonych z resztą obudowy rozporami oraz stabilizacji odrzwi za pomocą dodatkowych elementów. Wymagało to zbudowania odpowiedniego układu obciążającego, zapewniającego duże wartości sił działających wzdłuż osi wyrobiska [13].

W wyniku przeprowadzonych oględzin oraz obserwacji odrzwi po badaniach można zauważyć, oprócz przemieszczenia liniowego konstrukcji, także skrócenie elementów odrzwi. Można było także zaobserwować obszary wyraźnej deformacji przekroju kształtowników obudowy i rozpor. Celem tych badań jest praktyczna weryfikacja wcześniejszych analiz teoretycznych i badań stanowiskowych.

## 6. Podsumowanie i wnioski

Ze względu na ograniczoną objętość niniejszego opracowania, a jednocześnie na bardzo rozległy temat, jakim są szeroko rozumiane badania obudów odrzwiowych. W opracowaniu zostały przedstawione tylko główne, zdaniem autora, kierunki tych badań.

Problematyka ta jest szeroko podejmowana przez badaczy zarówno w ośrodkach akademickich, naukowych, jak i przez szeroko rozumiany przemysł.

W najszerszym zakresie obecnie prowadzone są analizy numeryczne, ze względu na dużą dostępność zarówno sprzętu, jak i uniwersalnego oprogramowania. Dają one także duże możliwości modelowania zarówno geometrii, jak i obciążenia. Są to także badania bezpieczne i stosunkowo mało kosztowne. Jednak należy stwierdzić, iż ich powszechność nie zawsze

idzie w parze z jakością. Bez odpowiedniej wiedzy teoretycznej i praktycznej często uzyskiwane wyniki nie mają większego sensu fizycznego.

Badania stanowiskowe należą do badań kosztownych. Badania całych odrzwi mogą być przeprowadzane tylko w dwóch ośrodkach. Na wydziale Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej i w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach. Wymagają one, więc odpowiednich przygotowań. W nieco szerszym zakresie prowadzone są badania poszczególnych elementów obudów, niewymagające aż tak kosztownych stanowisk. Prowadzi się, więc zarówno badania samych kształtowników, jak i osprzętu niezbędnego do poprawnej pracy całej obudowy.

Prowadzenie badań w warunkach dołowych jest szczególnie trudne. Wymaga, bowiem nie tylko specjalistycznego sprzętu, ale i odpowiednich zezwoleń i jest niestety niebezpieczne. Dlatego należy je szczególnie doceniać. Prowadzenie badań w warunkach dołowych pozwala uzyskać rzeczywiste informacje zarówno o obciążeniach, jak i o deformacji obudowy. W innych przypadkach badań możemy tylko mówić o pewnych przybliżonych warunkach badawczych, czyli o modelach.

Podstawą dalszego rozwoju jakościowego obudów jest konieczność podejmowania trudu prowadzenia badań, analiz i doświadczeń w celu pełnego wykorzystania już istniejących konstrukcji, a także opracowywania nowych rozwiązań.

## LITERATURA

1. Brodny J., Nahorniak E.: Wyznaczenie nośności odrzwi obudowy chodnikowej otwartej. ZN Pol. Śl., Seria Górnictwo z. 242. Gliwice 1999 r.
2. Filcek H., Walaszczyk J., Tajtuś A.: Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice, 1994 r.
3. Kowalski E., Wpływ parametrów technicznych odrzwi łukowej obudowy chodnikowej na zdolność przyjmowania obciążeń dynamicznych. Praca doktorska, GIG, Katowice 1997 r.
4. Michałek M. sposoby regulowania nośności zsuwnej obudowy z odrzwi stalowych podatnych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1997 r.
5. Urbańczyk J., Preidl W.: Badania wytrzymałościowe profilu V przeprowadzone na wycinkach o grubości 15, 20, 25 i 30 mm. III konferencja „Zastosowanie mechaniki w górnictwie”, Rudy Raciborskie 2001 r.
6. Pacześniowski K. Wpływ wybranych czynników mechanicznych i geometrycznych na nośność odrzwi obudowy łukowej. Praca doktorska, GIG Katowice 1996 r.
7. Perek J., Rułka K., Sawka B.: Zmodernizowane stanowisko do badań w skali naturalnej stalowych obudów odrzwiowych z zastosowaniem obciążeń statycznych. ZN Pol. Śl., Górnictwo z. 191, Gliwice 1990 r.

8. Prusek S. Pomiary dołowe w chodnikach przyścianowych ścian zawałowych. XXII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, 1999 r., Karpacz.
9. Prusek S. Pomiary zaciskania, rozwarstwienia skał stropowych oraz obciążenia pasa ochronnego w chodnikach przyścianowych. XXI Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, 1998 r., Zakopane
10. Prusek S., Skrzyński K.: Wpływ eksploatacji ściany na obudowę wyrobiska przyścianowego w świetle pomiarów dołowych i badań stanowiskowych odrzwi. V Międzynarodowa Konferencja „Zastosowanie mechaniki w górnictwie”, Gliwice-Dzierżno 2005 r.
11. Pytel A., Wpływ zginania n prace ciernych złączy łukowych odrzwi ŁP przy obciążeniach statycznych i dynamicznych. Praca doktorska, GIG Katowice 2001 r.
12. Rotkegel M.: Wpływ stopnia dyskretyzacja modelu MES na wyniki analizy wytrzymałościowej przy zginaniu kształtownika V29. Przegląd Górniczy 2001 r.
13. Rotkegel M., Metody projektowania konstrukcji obudowy chodników trzyścianowych o podwyższonej stateczności. Praca doktorska, GIG Katowice 2000 r.
14. Skrzyński K. Rotkegel M. Obudowa kombinowana prosto-łukowa jako skuteczne zabezpieczenie rozcinak ścianowych. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2000 r., Szczyrk 2000 r.
15. Stoiński K. i inni, Koncepcja metody oraz wyniki wstępnych badań charakterystyk obciążeniowo-zsuwnych złączy odrzwi obudowy przy obciążeniach udarem masowym. GIG, 1988 r.
16. Stoiński K. i inni, Wyniki wstępnych badań odporności stalowej obudowy chodnikowej i jej elementów na obciążenia udarem masy. GIG Katowice 1991 r.
17. Skrzyński K., Wpływ rozstawu i typu rozpór n prawidłową stabilizację odrzwi oraz nośności łukowej obudowy chodnikowej. Materiały konferencyjne. GIG Katowice, Ustroń 2000 r.

Recenzent: Doc.dr hab.inż. Józef Kabiesz