

Włodzimierz Madejczyk

BADANIA STANOWISKOWE SEKCJI OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ ORAZ JEJ ELEMENTÓW

MONOGRAFIA - NR 21

**SERIA: INNOWACYJNE TECHNIKI
I TECHNOLOGIE MECHANIZACYJNE**



Gliwice 2019

Włodzimierz Madejczyk

**Badania stanowiskowe
sekcji obudowy zmechanizowanej
oraz jej elementów**

Autor:

dr inż. Włodzimierz Madejczyk – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Kazimierz Stoiński – Główny Instytut Górnictwa

dr inż. Józef Markowicz - Politechnika Śląska

Redaktor techniczny:

mgr inż. Romana Zając

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę

Copyright by

Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2019

Wydawca:

Instytut Techniki Górniczej KOMAG

ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

ISBN 978-83-65593-20-7

Spis treści

	str.
1. Wprowadzenie	1
1.1. Przegląd rodzajów badań sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów	1
1.2. Rozwój infrastruktury badawczej w ITG KOMAG, dedykowanej do badań kompletnych sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów	3
2. Problematyka badań o charakterze poznawczym	9
2.1. Weryfikacja wyników obliczeń i analiz teoretycznych przy statycznym obciążeniu sekcji	9
2.1.1. Badania stanu wyężenia elementów sekcji	10
2.1.2. Zastosowanie metody kruchych pokryw do określenia nośności granicznej.....	32
2.2. Weryfikacja metod wyznaczania obciążenia zewnętrznego sekcji	43
2.2.1. Metoda wyznaczania wektora obciążenia zewnętrznego sekcji	43
2.2.2. Metoda doświadczalnego wyznaczania dokładności określania parametrów charakteryzujących obciążenia zewnętrzne sekcji obudowy zmechanizowanej	46
2.3. Badania przy obciążeniu dynamicznym	58
2.3.1. Badania sekcji przy obciążeniu dynamicznym	59
2.3.2. Badania stojaków przy obciążeniu dynamicznym	65
3. Badania sprawdzające wymagania bezpieczeństwa.....	83
3.1. Badania sekcji obudowy zmechanizowanej.....	84
3.1.1. Badania funkcjonalności sekcji	85
3.1.2. Próby obciążenia sekcji	90
3.1.3. Ocena wyników badań	97
3.2. Badania siłowników hydraulicznych.....	100
3.2.1. Badania przy symetrycznym obciążeniu osiowym	102

3.2.2. Próby przy obciążeniu asymetrycznym	108
3.2.3. Próby trwałości	110
3.2.4. Badanie zaczepów transportowych siłowników hydraulicznych	114
3.2.5. Ocena wyników badań siłowników	114
3.3. Badania zaworów hydraulicznych.....	115
3.3.1. Zawory typu A	117
3.3.2. Zawory typu B	121
3.3.3. Zawory typu C	125
3.3.4. Zawory typu D	126
3.3.5. Porównanie wymagań normatywnych dotyczących poszczególnych typów zaworów	127
4. Badania sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów prowadzone w innych jednostkach	129
5. Analiza wymagań normatywnych dotyczących sekcji obudowy zmechanizowanej	135
5.1. Warunki obciążenia podstawowych elementów sekcji	135
5.2. Badania podstawowych elementów sekcji	136
5.2.1. Wytrzymałość statyczna	136
5.2.2. Wytrzymałość zmęczeniowa	136
5.2.3. Podatność, podporność	138
5.3. Pozostałe badania	139
5.4. Ocena wyników badań	140
5.5. Porównanie wymagań normy PN-EN 1804-1 z wymaganiami normatywnymi obowiązującymi w innych krajach	142
6. Podsumowanie	145
Literatura	147
Streszczenie	152
Abstract	154

1. Wprowadzenie

Konieczność skutecznego zabezpieczenia wyrobisk ścianowych prowadzonych w coraz trudniejszych warunkach górniczych oraz rosnące zapotrzebowanie przemysłu węglowego na wysoko wydajne kompleksy ścianowe spowodowały, na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia burzliwy rozwój konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej. Proces ten postępował w kolejnych latach aż do chwili obecnej. Oprócz zaawansowanych metod projektowania i obliczeń wytrzymałościowych duży wpływ na doskonalenie postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej miały i nadal mają badania stanowiskowe. Z jednej strony wyniki tych badań służą do kontroli poprawności zastosowanych metod oceny wyężenia konstrukcji, z drugiej umożliwiają weryfikację założonych parametrów wytrzymałościowych i cech funkcjonalnych sekcji. Badane właściwości sekcji mają istotny wpływ na bezpieczeństwo stanowiskowe i procesowe w wyrobisku ścianowym. Z tego względu doświadczalna weryfikacja parametrów wytrzymałościowych i cech funkcjonalnych sekcji jest warunkiem koniecznym jej bezpiecznego użytkowania.

Badania stanowiskowe sekcji obudowy zmechanizowanej realizowane są w różnych ośrodkach w Polsce i poza jej granicami. Od ponad 40 lat badania te prowadzone są w laboratoriach KOMAG-u, obecnie Instytutu Techniki Górniczej KOMAG. W ciągu minionych dziesięcioleci zakres i metody realizowanych badań były różnorodne i w znacznym stopniu uzależnione od wymagań zlecniodawcy. Ciągłe rozbudowywana była również infrastruktura badawcza.

Celem niniejszej monografii jest syntetyczne omówienie rodzajów badań sekcji obudowy zmechanizowanej oraz stosowanych metod badawczych, zilustrowane przykładami testów realizowanych w przeciągu minionych 40 lat w Laboratorium Badań KOMAG-u.

1.1. Przegląd rodzajów badań sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów

Dokonując przeglądu rozmaitych badań obudowy zmechanizowanej prowadzonych w Laboratorium Badań KOMAG-u uwzględniono dwa podstawowe kryteria: przedmiot badań i cel badań.

Przedmiotem większości badań były kompletne sekcje obudowy zmechanizowanej. Przeprowadzone testy dotyczyły głównie badań wytrzymałościowych. Oprócz badań kompletnych sekcji prowadzono również badania poszczególnych jej podzespołów. Spośród elementów sekcji najczęściej przedmiotem badań są stojaki hydrauliczne oraz siłowniki układu

podpornościowego sekcji. Mają one zasadniczy wpływ na cechy użytkowe sekcji, takie jak podporność, czy podatność. Z tego względu przywiązywano dużą wagę do badań podzespołów hydrauliki siłowej. Przedmiotem odrębnych badań są również elementy hydrauliki sterowniczej.

Odrębne badania pozostałych elementów sekcji obudowy zmechanizowanej prowadzono bardzo rzadko, głównie ze względu na konieczność budowy dodatkowych urządzeń umożliwiających symulację stanu obciążenia badanego elementu zamontowanego w sekcji obudowy. Z tego względu, badania wyteżenia takich elementów podstawowych sekcji, jak stropnice, osłony odzawałowe czy spągnice przeprowadzano w trakcie testów kompletnych sekcji obudowy zmechanizowanej.

Celem większości badań sekcji obudowy zmechanizowanej oraz siłowników układu podpornościowego sekcji było sprawdzenie wymagań normatywnych. W takim wypadku metodę badań, wielkość i charakter zadawanego obciążenia oraz zakres analizy i rejestracji wyników pomiaru determinują przywoływane akty normatywne.

Oprócz testów, których celem było sprawdzenie wymagań normatywnych realizowano również badania poznawcze dotyczące głównie analizy wyteżenia elementów sekcji. Celem tych badań była weryfikacja poprawności przyjętych założeń projektowych, zgodności wyników obliczeń z wynikami pomiarów czy też analiza naprężenia w elementach sekcji o złożonej budowie. W tym przypadku zleceniodawcy badań poznawczych, w porozumieniu z pracownikami Laboratorium Badań, mieli istotny wpływ na wybór metody badań, procedurę ich realizacji oraz zakres analizy wyników. Przeprowadzenie tych badań wymagało, w wielu przypadkach, zaprojektowania i wykonania dodatkowych urządzeń, bądź zastosowania specjalistycznych przyrządów pomiarowych.

Wybrane przykłady badań poznawczych przedstawiono w rozdziale 2. monografii. Cechą charakteryzującą poszczególne realizowane badania sekcji obudowy zmechanizowanej lub jej elementów, jest rodzaj zadawanego obciążenia. Biorąc pod uwagę to kryterium wyróżnia się:

- badania przy obciążeniu statycznym,
- badania trwałości zmęczeniowej,
- badania przy obciążeniu dynamicznym.

Obciążenie statyczne obiektu badań można uzyskać za pomocą stojaków układu podpornościowego badanej sekcji lub za pomocą siłowników hydraulicznych zabudowanych w stanowisku badawczym nad jego ruchomym stropem.

Obciążenie dynamiczne można realizować poprzez uderzenie swobodnie spadającego białka o określonej masie lub za pomocą odpalenia ładunku materiału wybuchowego w specjalnym generatorze obciążenia dynamicznego. Wszystkie wymienione rodzaje obciążenia obiektu badań są realizowane w ITG KOMAG.

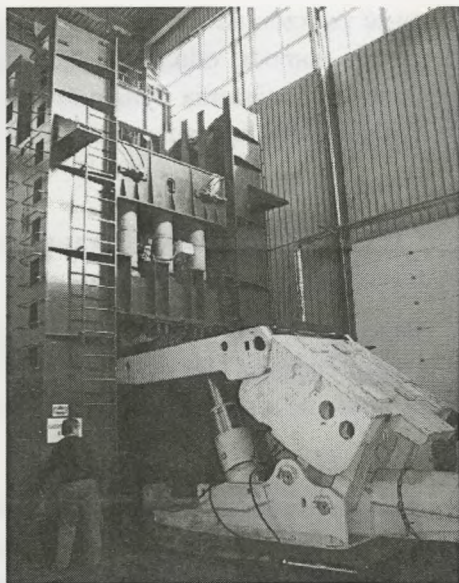
1.2. Rozwój infrastruktury badawczej w ITG KOMAG, dedykowanej do badań kompletnych sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów

Istotną rolę w rozwoju badań stanowiskowych sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów odegrał Instytut Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach, którego historia nierozdzielnie wiąże się z rozbudową potencjału badawczego w tym zakresie.

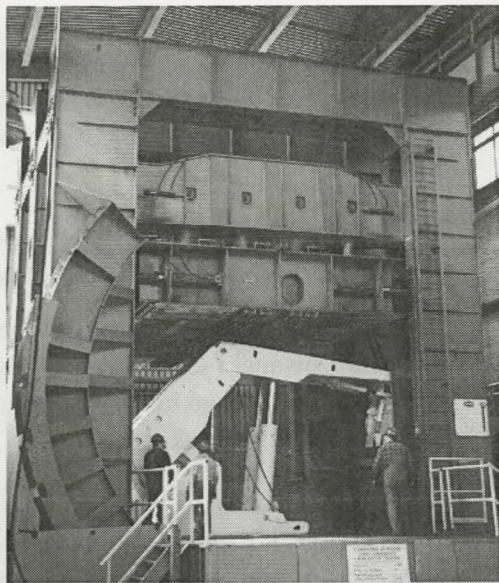
Pierwsze badania sekcji obudowy zmechanizowanej przeprowadzono w KOMAG-u pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku na stanowisku badawczym zbudowanym z ram poprzecznych, połączonych przegubowo ze słupami sztywno utwierdzonymi w podłożu. Niestety stanowisko to umożliwiało badania sekcji obudowy jedynie w ograniczonym zakresie w odniesieniu do, zarówno zadawanego obciążenia, jak również wymiarów gabarytowych obiektu badań.

W 1980 roku rozpoczęto budowę nowej hali badawczej, w której zostały zlokalizowane dwa nowoczesne stanowiska badawcze do badań sekcji zmechanizowanej obudowy górniczej. Zaprojektowane parametry techniczne tych stanowisk, dotyczące wartości wywoływanego obciążenia i wymiarów gabarytowych badanych obiektów spełniają wymagania, zarówno ówczesnie prowadzonych badań, jak również badań wykonywanych obecnie.

Pierwsze ze stanowisk do badań wytrzymałości sekcji obudowy zmechanizowanej pod roboczą nazwą "Stacja badań dynamicznych elementów i sekcji obudów dla pokładów tąpniących", przekazane do eksploatacji 25 lutego 1985 roku (rys. 1.1) umożliwia obciążanie obiektu badań siłą do 16 MN w płaszczyźnie pionowej oraz siłą do 4,5 MN w płaszczyźnie poziomej. Maksymalna odległość sztucznego stropu od spągu, wynosi 4,8 m, a obciążenie sekcji obudowy można wywołać aktywnie, ruchem stropu stanowiska lub biernie poprzez zasilenie zespołów hydrauliki siłowej sekcji ciecżą o wysokim ciśnieniu.



Rys. 1.1. Stanowisko do badań wytrzymałości sekcji obudowy zmechanizowanej [1]



Rys. 1.2. Stanowisko do badań funkcjonalności sekcji obudowy zmechanizowanej [1]

Drugie stanowisko do badań funkcjonalności sekcji obudowy zmechanizowanej pod roboczą nazwą "Stacja prób obudów zmechanizowanych", przekazane do eksploatacji w dniu 3 października 1985 roku (rys. 1.2) umożliwia obciążenie sekcji siłą do 10 MN, przy maksymalnym kącie wychyłu stanowiska do 90°.

Maksymalna odległość między spągami, a sztucznym stropem wynosi 4 m. Wymiary sztucznego stropu wynoszą 5 x 7,2 m, co umożliwia wykonywanie badań parametrów kinematycznych zestawu trzech sekcji obudowy o podziale 1,5 m.

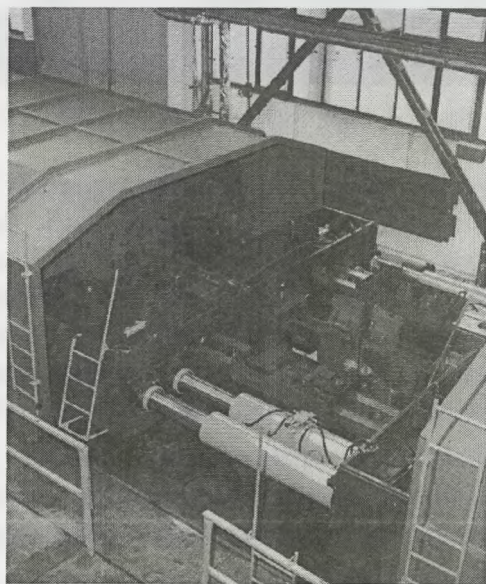
W latach 80. i 90. ubiegłego wieku metody badań realizowane na tych stanowiskach opracowano na podstawie *"Tymczasowych wymagań, wytycznych konstruowania oraz prowadzenia badań laboratoryjnych i prób eksploatacyjnych obudów zmechanizowanych dla dopuszczenia typu do produkcji i stosowania"*, zatwierdzonych przez ówczesne Ministerstwo Górnictwa i Energetyki w grudniu 1984 r. [47].

Równocześnie prowadzono prace adaptacyjne w kolejnej hali badawczej, które zaowocowały powstaniem w 1992 r. dalszych trzech stanowisk

badawczych do badań elementów maszyn i urządzeń górniczych, stojaków oraz zaworów hydraulicznych.

Stanowisko do badań wytrzymałościowych elementów maszyn i urządzeń górniczych (rys. 1.3) umożliwia prowadzenie badań przy obciążeniu statycznym i cyklicznie zmiennym zespołów elementów obudowy, w tym elementów hydrauliki siłowej tj.: stojaków, podpór i siłowników pomocniczych, podlegających rozciąganiu, ściskaniu, zginaniu lub złożonemu stanowi obciążenia.

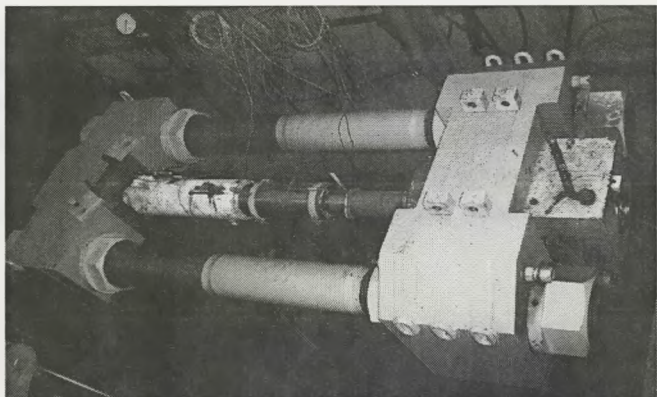
Stanowisko posiada dwa poziomy badawcze, zazwyczaj oddzielone podłogą wykonaną z blach. Odległość pomiędzy poziomami badawczymi wynosi 1,6 m. Badania na poszczególnych poziomach można realizować niezależnie od siebie, bądź w przypadku badania bardziej złożonych elementów można stosować równocześnie siłowniki usytuowane na obu poziomach. Maksymalne obciążenie statyczne obiektu badanego wynosi 12 MN, a jego długość nie może przekraczać 7,0 m.



Rys. 1.3. Stanowisko do badań wytrzymałościowych elementów maszyn i urządzeń górniczych [1]

Kolejne stanowisko do badań stojaków (rys. 1.4) umożliwia wyznaczenie charakterystyk podatności stojaków i siłowników, ich wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej. Stanowisko umożliwia również wywoływanie obciążenia

dynamicznego za pomocą odpalenia ładunku materiału wybuchowego w specjalnym generatorze obciążenia dynamicznego. Ten sposób generowania obciążenia dynamicznego umożliwia uzyskanie dużych prędkości narastania obciążenia i w odróżnieniu od metody kafarowej charakteryzuje się brakiem niekorzystnego oddziaływania drgań na środowisko. Maksymalna wartość obciążenia jaką można uzyskać na stanowisku przedstawionym na rysunku 1.4 wynosi 8 MN. Na stanowisku można badać stojaki o długości do 4,8 m.

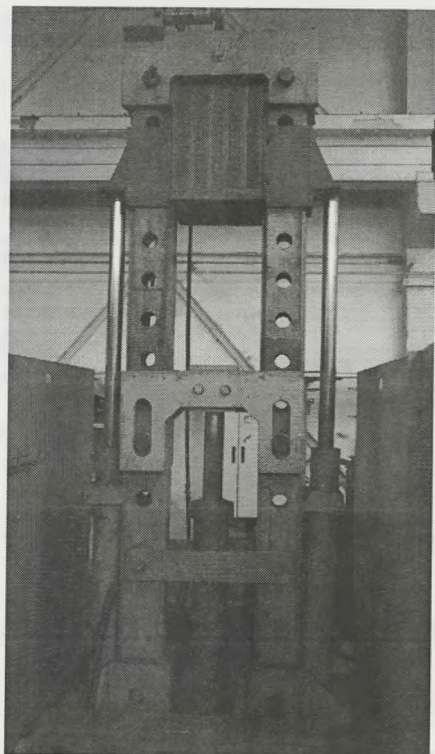


Rys. 1.4. Stanowisko do badań stojaków [1]

Do badania hydraulicznych elementów sterowniczych i zabezpieczających siłowników hydraulicznych, o mniejszych gabarytach, służy stanowisko do badania zaworów (rys. 1.5). Maksymalne obciążenie statyczne stanowiska wynosi 0,8 MN. Na stanowisku można prowadzić badania przy obciążeniu statycznym, dynamicznym i cyklicznie zmiennym. Obciążenie dynamiczne zaworów upustowych (przelewowych) wywołane jest przez swobodny spadek masy na siłownik wzorcowy, do którego podłączony jest badany zawór.

Wszystkie stanowiska Laboratorium Badań wyposażone są w wielokanałową aparaturę pomiarowo-rejestrującą odkształcenie, ciśnienie, siłę, przemieszczenie oraz inne parametry wielkości fizycznych.

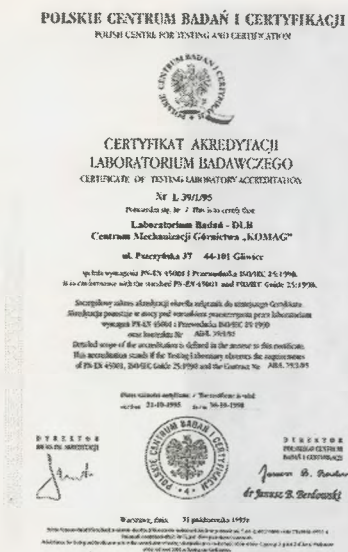
W 1992 r. rozpoczęto prace nad dostosowaniem systemu zarządzania w Laboratorium Badań do wymagań akredytacyjnych zgodnych z normą PN-EN 45011 oraz Przewodnika ISO/IEC 25:1990. Spełnienie tych wymagań zaowocowało uzyskaniem jednej z pierwszych akredytacji udzielonej przez ówczesne Polskie Centrum Badań i Certyfikacji (obecnie Polskie Centrum Akredytacji) na badania między innymi sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów.



Rys. 1.5. Stanowisko do badań zaworów [1]

Laboratorium do chwili obecnej utrzymuje posiadane uprawnienia (akredytacja AB 039) i w ciągu minionych kilkunastu lat wielokrotnie dostosowywało swój system zarządzania do zmieniających się wymagań jednostki akredytującej.

W maju 2019 roku Laboratorium Badań poddało się ocenie przeprowadzonej przez Polskie Centrum Akredytacji, w odniesieniu do wymagań nowej normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018:2018-02. Pozytywny wynik oceny skutkował wydaniem 23 maja 2019 roku nowego certyfikatu potwierdzającego kompetencje laboratorium (rys. 1.6).



Rys. 1.6. Certyfikat akredytacji AB 039 wydany dla Laboratorium Badań:
a) w 1995 roku, b) w 2019 roku

Oprócz rozbudowy potencjału badawczego KOMAG-u o nowe stanowiska badawcze, równocześnie prowadzono prace modernizacyjne wcześniej uruchomionych stanowisk badawczych. Dotyczyły one głównie:

- wykonania systemu automatycznej kontroli przebiegu badań trwałościowych,
- wykonania i instalacji wysokoefektywnego systemu chłodzenia cieczy hydraulicznej, pracującej w układzie zasilająco-spywowym stanowisk badawczych,
- modernizacji układów hydraulicznych i układów sterowania stanowisk badawczych.

Aktualnie nowoczesny system sterowania przebiegiem badań umożliwia pełne monitorowanie pracy stanowisk i zapis wszystkich cykli badawczych w odpowiednich plikach tekstowych. Systemy sterowania stanowisk badawczych zapewniają bezpieczne zdalne sterowanie przebiegiem badań i zautomatyzowane ich prowadzenie, zarówno sekcji obudowy zmechanizowanej, jak również siłowników hydraulicznych oraz ciągłą rejestrację mierzonych parametrów.

Infrastruktura sprzętowo-pomiarowa umożliwia wykorzystanie platformy informatycznej uruchomionej w ITG KOMAG do bieżącej rejestracji, archiwizacji i udostępniania wyników badań.

2. Problematyka badań o charakterze poznawczym

2.1. Weryfikacja wyników obliczeń i analiz teoretycznych przy statycznym obciążeniu sekcji

Celem stanowiskowych badań wytrzymałościowych może być doświadczalna weryfikacja odpowiednich obliczeń teoretycznych lub wyznaczenie współczynnika bezpieczeństwa. Podstawą oceny poprawności rozwiązania konstrukcji elementów sekcji ze względu na jej wytrzymałość jest zwykle ich wyężenie określone stanem napężenia i odkształcenia. W tym celu najczęściej wykorzystuje się metodę tensometrii elektrooporowej. Istota metody tensometrycznej polega na pomiarze składowych stanu odkształcenia na powierzchni badanego elementu i określeniu na tej podstawie składowych stanu napężenia. W praktyce badawczej używane są tensometry rezystancyjne, w których pomiar wydłużenia oparty jest na zjawisku zmiany oporu czynnego czujnika [18].

Celem pomiarów tensometrycznych, jest w ogólnym wypadku określenie kierunków głównych i wyznaczenie wartości składowych głównych stanu napężenia. Realizacja tego zadania wymaga pomiaru wydłużeń jednostkowych w trzech ustalonych kierunkach, za pomocą, zespołu trzech tensometrów, zwanego rozetą tensometryczną [18]. Liczba tensometrów niezbędnych do wyznaczenia składowych stanu napężenia w danym „punkcie” zmniejsza się, w przypadku, gdy znany jest rodzaj stanu napężenia panującego w badanym obiekcie i określone jest położenie kierunków głównych.

W przypadku badania elementów, w których panuje silnie niejednorodny stan napężenia wyznaczenie jego rozkładu, a nawet jedynie określenie maksymalnego wyężenia wymaga zastosowania gęstej siatki „punktów” pomiarowych z rozetami tensometrycznymi. Byłoby to pracochłonne, kosztowne i trudne do zrealizowania. Dlatego też często wyboru punktów pomiarowych dokonuje się w oparciu o intuicję inżynierską, co nie zawsze daje pożądane rezultaty, gdyż przeważnie nie są znane czynniki, które pozwoliłyby na stuprocentowe wytypowanie najbardziej wyężonych miejsc w badanym elemencie.

Celem zmniejszenia liczby naklejanych tensometrów można przed przystąpieniem do badań tensometrycznych przeprowadzić badania stanu napężenia metodą kruchych pokryw dla orientacyjnego wyznaczenia kierunków napężeń głównych oraz wskazania miejsc najbardziej wyężonych.

W metodzie tej powierzchnię badanego elementu pokrywa się cienką warstwą specjalnego tworzywa o małej wytrzymałości na rozciąganie. Warstwę tę nazywa się ogólnie kruchym pokryciem.

Pod wpływem obciążenia lub odciążenia elementu, kruche pokrycie, deformujące się wraz z jego powierzchnią ulega charakterystycznym pęknięciom,

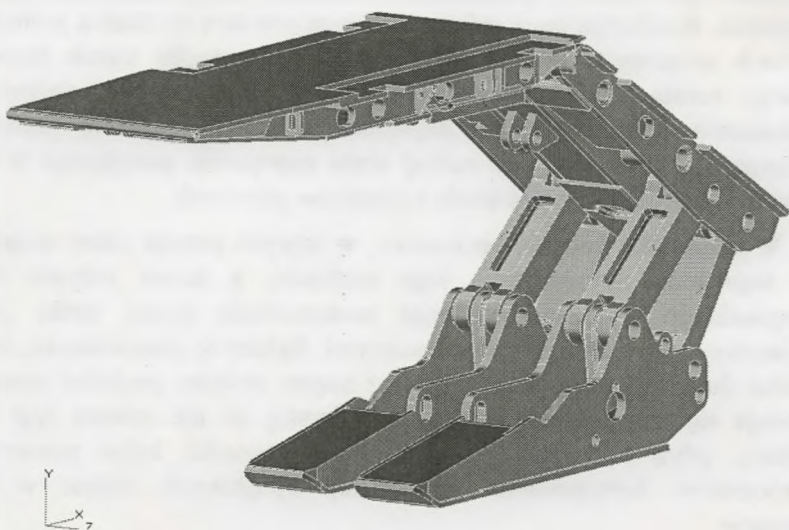
których kierunki i gęstość rozmieszczenia umożliwiają przybliżoną ocenę wartości składowych stanu naprężenia w badanym obszarze oraz wyznaczenie kierunków głównych stanu naprężenia [18].

Przykład wykorzystania metody kruchych pokryć w badaniach niszczących przedstawiono w rozdziale 2.1.2.

2.1.1. Badania stanu wyężenia elementów sekcji

2.1.1.1. Weryfikacja metod obliczeń odkształceń elementów sekcji

Procedurę stanowiskowych badań weryfikujących wyniki obliczeń można przedstawić na przykładzie badań sekcji obudowy ZBMD-12/31-POz [39]. Badana sekcja charakteryzowała się wysokim stopniem zużycia elementów nośnych. Widoczne były duże ubytki materiału na powierzchniach elementów nośnych spowodowane korozją. Spoiny łączące blachy posiadały nierównomierny przekrój. Nieznany był stan elementów leżących wewnątrz zamkniętych przestrzeni elementów o budowie skrzynkowej.



Rys. 2.1. Model geometryczny sekcji obudowy ZBMD-12/31-POz [50]

Budując model geometryczny badanej sekcji (rys. 2.1) uwzględniono, oprócz dokumentacji konstrukcyjnej, stwierdzone odstępstwa od dokumentacji.

Celem badań stanowiskowych sekcji obudowy ZBMD-12/31-POz była weryfikacja wyników obliczeń odkształceń sekcji uzyskanych metodą elementów skończonych (MES).

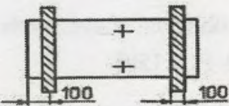
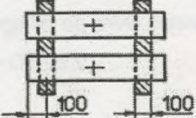
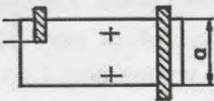
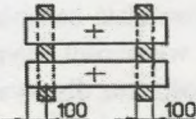
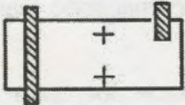
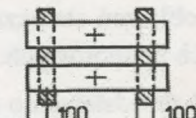
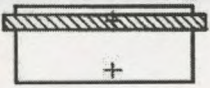
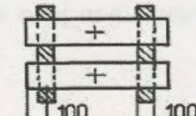
Zarówno obliczenia, jak i badania stanowiskowe przeprowadzono dla porównywalnych stanów kryterialnych obciążenia sekcji obudowy.

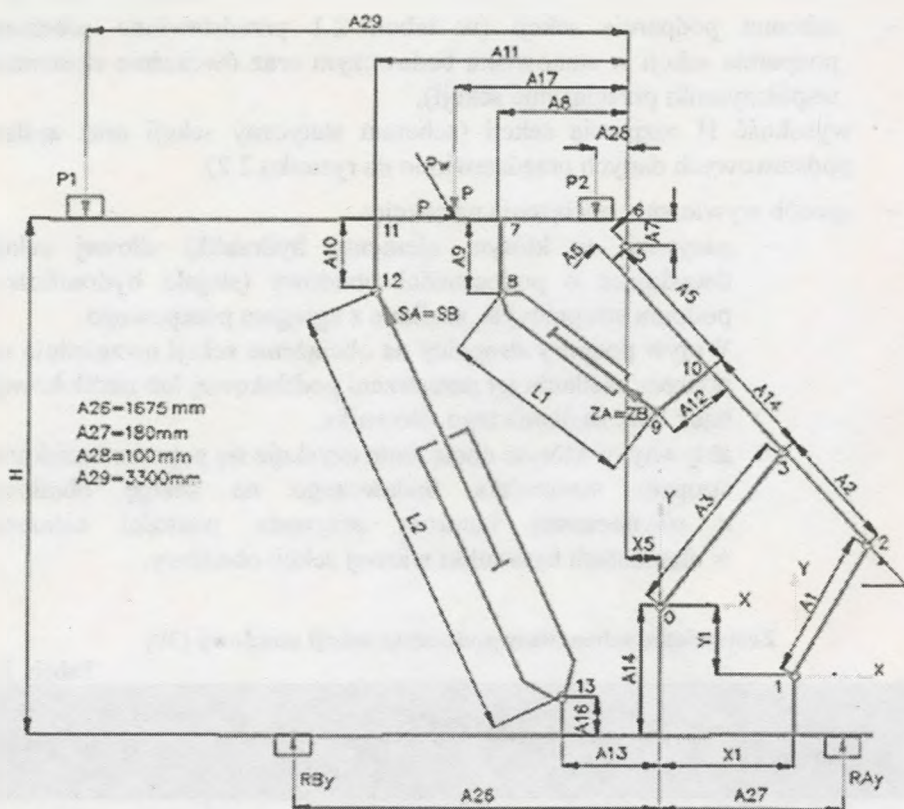
Stan kryterialny obciążenia sekcji charakteryzowały następujące czynniki:

- schemat podparcia sekcji (w tabeli 2.1 przedstawiono schematy podparcia sekcji w stanowisku badawczym oraz ówczśnie stosowane współczynniki przeciążenia sekcji),
- wysokość H rozparcia sekcji (schemat statyczny sekcji oraz zestaw podstawowych danych przedstawiono na rysunku 2.2).
- sposób wywierania obciążenia na sekcję:
 - pasywny, w którym elementy hydrauliki siłowej sekcji decydujące o podporności obudowy (stojaki hydrauliczne, podpora stropnicy) są zasilane z agregatu pompowego. Wpływ podpory stropnicy na obciążenie sekcji uwzględnia się poprzez zasilanie jej przestrzeni podtłokowej lub nadłokowej, bądź brak zasilania tego siłownika.
 - aktywny, w którym obciążenie uzyskuje się poprzez naciskanie stropem stanowiska badawczego na sekcję obudowy z równoczesną kontrolą przyrostu wartości ciśnienia w elementach hydrauliki siłowej sekcji obudowy.

Zestawienie schematów podparcia sekcji obudowy [39]

Tabela 2.1

Sposób podparcia	Schemat podparcia		Współczynnik przeciążenia $[p/p_n]$
	Stropnica	Spągnice	
A-A			1,3
B-A			1,15
C-A			1,15
D-A			1,15

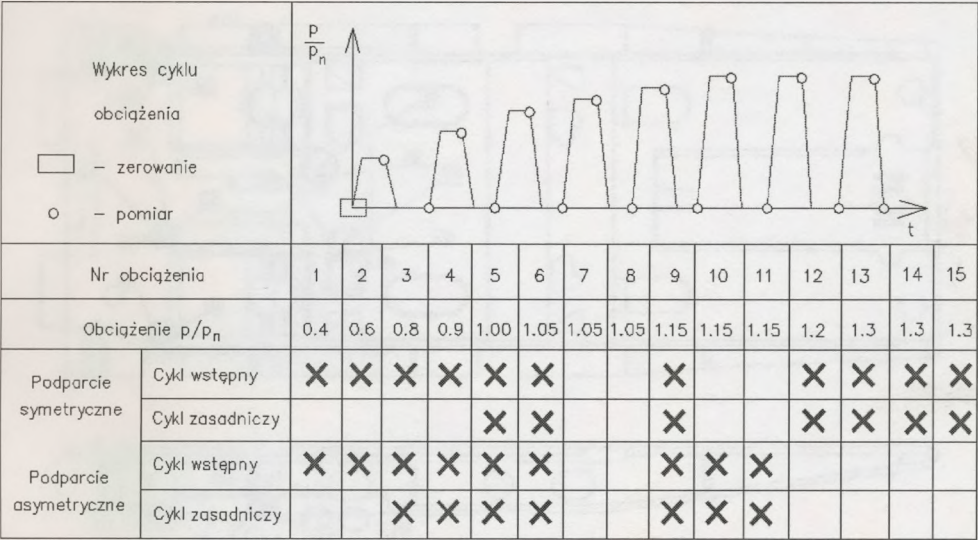


Rys. 2.2. Dane wejściowe do programu obliczeń statycznych sekcji obudowy ZBMD-12/31-POz [50]

Korzystając z obliczeń statycznych dobrano wysokość sekcji, przy której zaplanowano przeprowadzić badania stanowiskowe. Zdecydowano, że zostaną one wykonane dla wysokości, wynoszącej 2,4 m przy której sekcja osiąga największą podporność oraz dla wysokości wynoszącej 1,6 m charakteryzującej się maksymalnym obciążeniem łączników i połączeń przegubowych sekcji.

Na podstawie obliczeń statycznych wyznaczono wartości reakcji P_1 , P_2 , R_{By} i R_{Ay} w belkach podporowych.

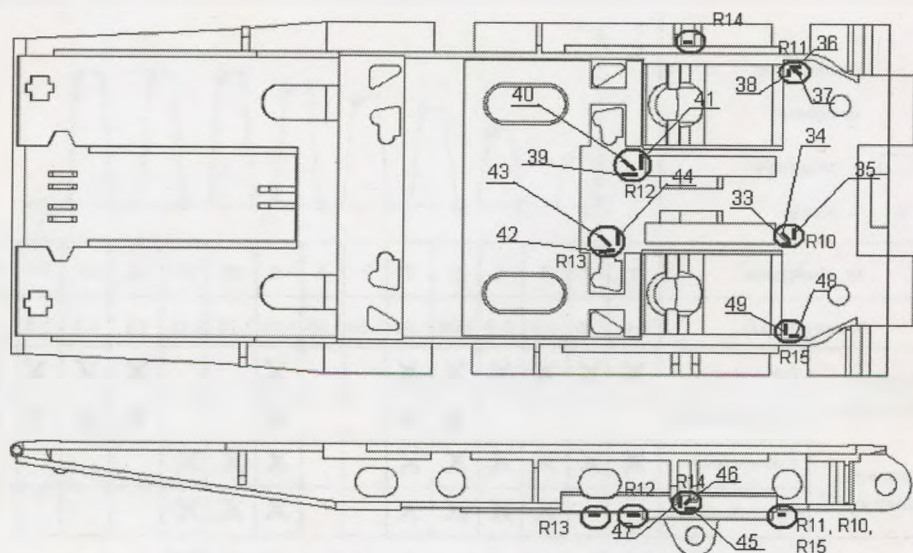
Na rysunku 2.3 przedstawiono informacje dotyczące programu obciążenia sekcji obudowy. Poszczególne etapy badania charakteryzują się różnym przeciążeniem, definiowanym jako stosunek ciśnienia w stojakach do ciśnienia nominalnego.



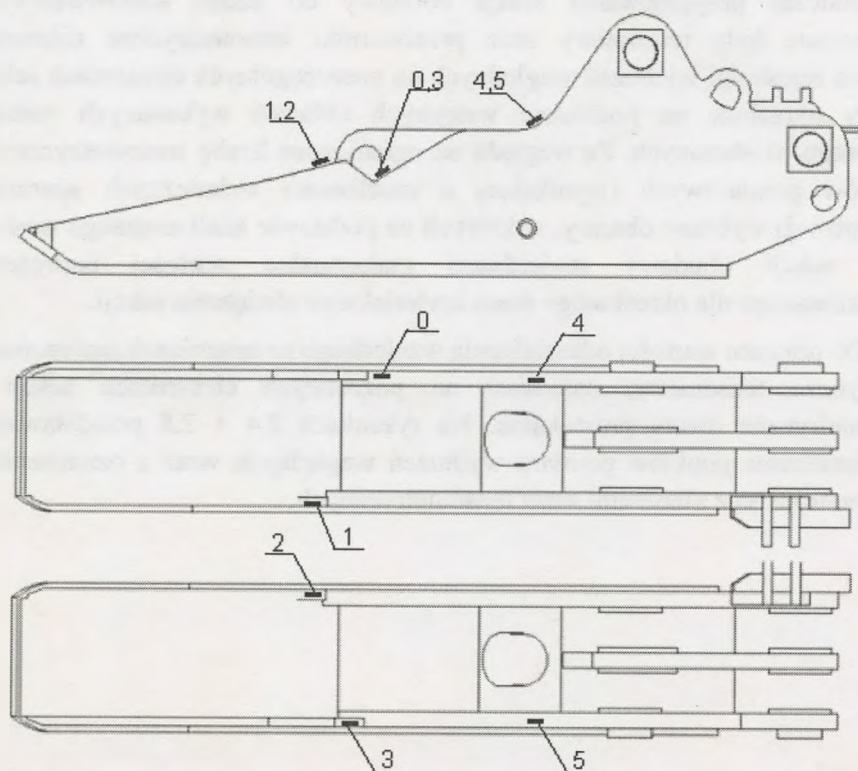
Rys. 2.3. Program obciążania sekcji obudowy [39]

Podczas przygotowania sekcji obudowy do badań stanowiskowych instalowane były tensometry oraz przetworniki tensometryczne ciśnienia. Miejsca rejestracji wydłużeń względnych na poszczególnych elementach sekcji zostały określone na podstawie wstępnych obliczeń wykonanych metodą elementów skończonych. Ze względu na ograniczoną liczbę tensometrycznych punktów pomiarowych (wynikającą z możliwości technicznych aparatury pomiarowej) wybrano obszary, w których na podstawie analizowanego modelu MES sekcji obudowy stwierdzono maksymalne wartości naprężenia zredukowanego dla określonego stanu kryterialnego obciążenia sekcji.

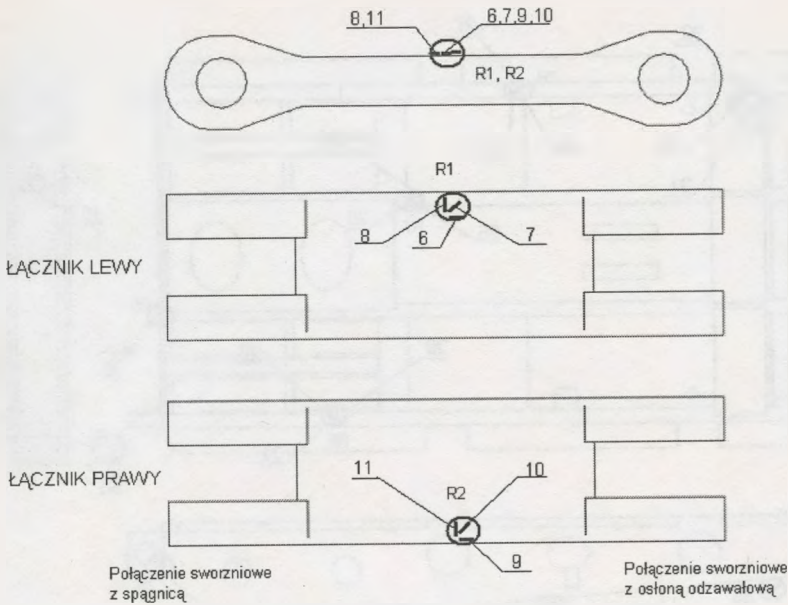
Do pomiaru wartości odkształcenia względnego na spągnicach zastosowano pojedyncze tensometry, natomiast na pozostałych elementach sekcji - tensometryczne rozety prostokątne. Na rysunkach 2.4 ÷ 2.8 przedstawiono rozmieszczenie punktów pomiaru wydłużeń względnych wraz z oznaczeniem tensometrów oraz numerami rozet tensometrycznych.



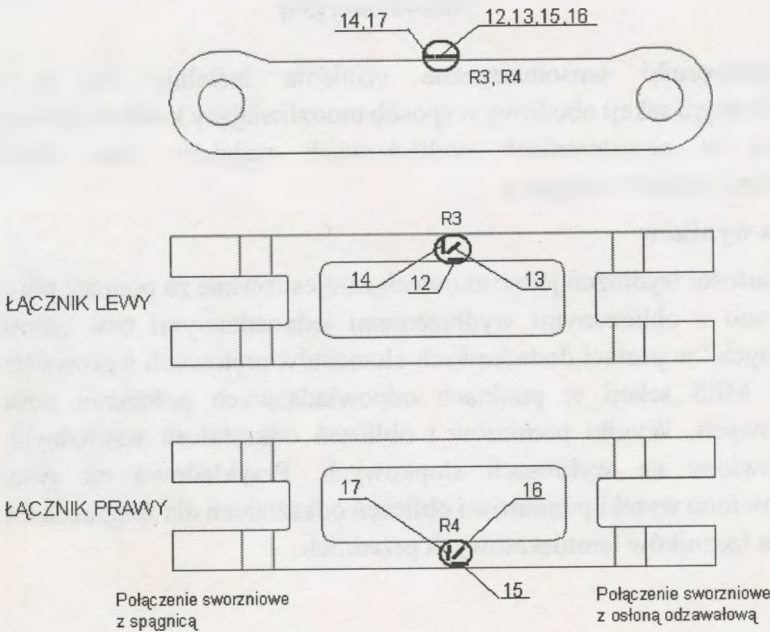
Rys. 2.4. Rozmieszczenie punktów pomiaru wydłużeń względnych na stopnicy [39]



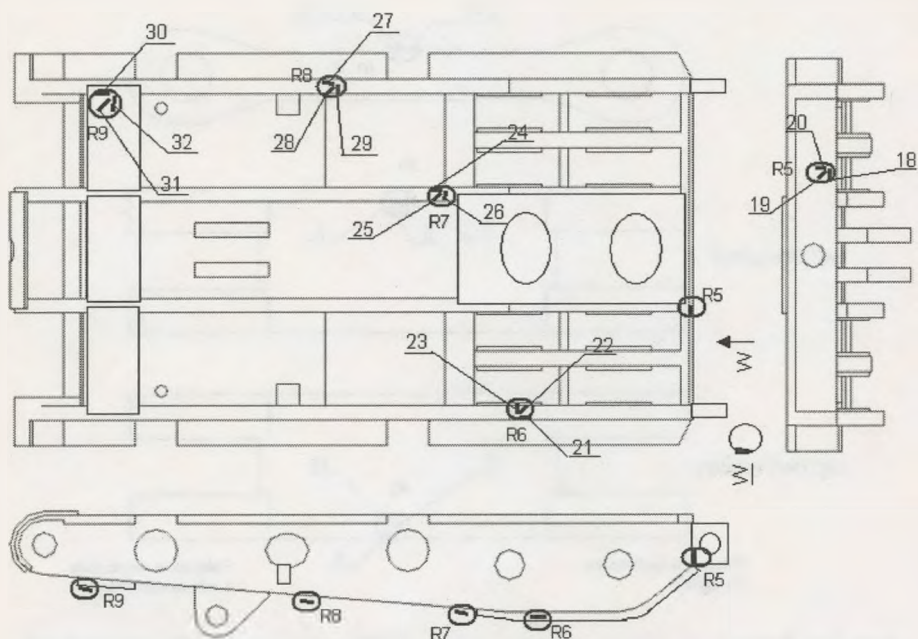
Rys. 2.5. Rozmieszczenie punktów pomiaru wydłużeń względnych na spągnicach [39]



Rys. 2.6. Rozmieszczenie punktów pomiaru wydłużeń względnych na łącznikach lemniskatowych tylnych [39]



Rys. 2.7. Rozmieszczenie punktów pomiaru wydłużeń względnych na łącznikach lemniskatowych przednich [39]

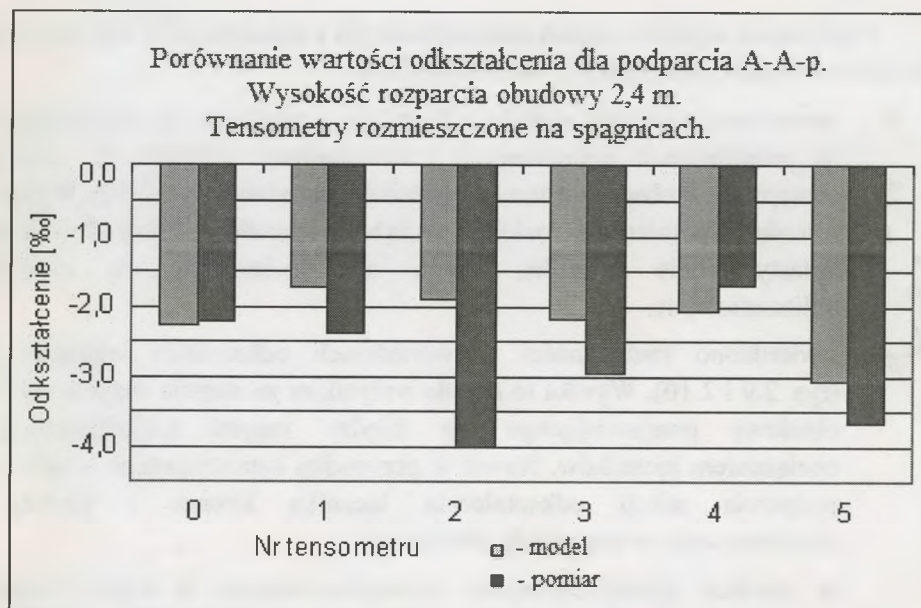


Rys. 2.8. Rozmieszczenie punktów pomiaru wydłużeń względnych na osłonie odzawałowej [39]

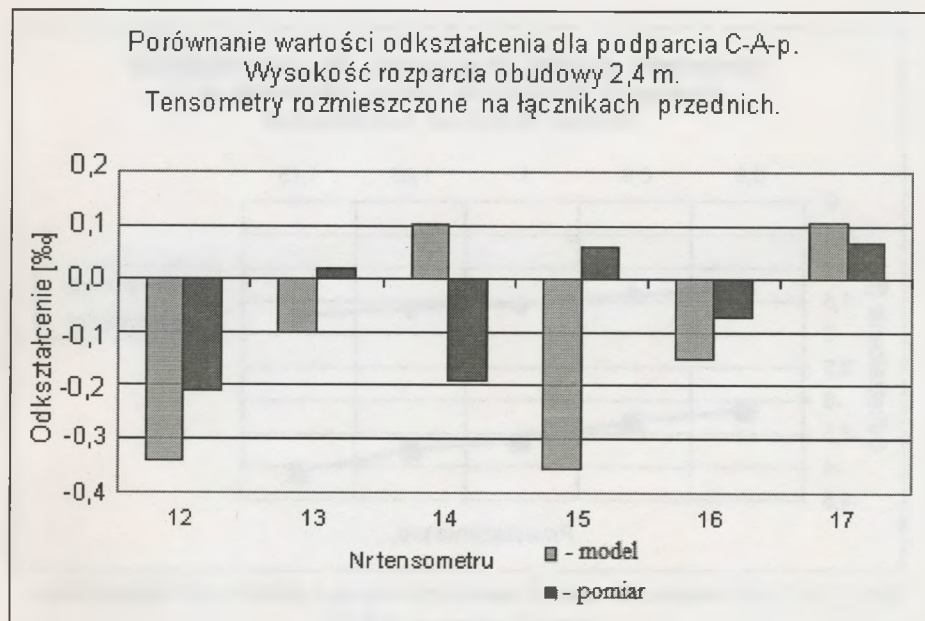
Przetworniki tensometryczne ciśnienia instaluje się w układzie hydraulicznym sekcji obudowy w sposób umożliwiający kontrolę zmian wartości ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków oraz odpowiedniej przestrzeni podpory stropnicy.

Analiza wyników

Wartości wydłużeń jednostkowych zarejestrowane za pomocą tensometrów porównano z obliczonymi wydłużeniami jednostkowymi tzw. „tensometrów wirtualnych” w postaci dodatkowych elementów prętowych wprowadzonych do modelu MES sekcji w punktach odpowiadających położeniu tensometrów pomiarowych. Wyniki pomiarów i obliczeń odkształceń względnych zostały przedstawione na wykresach słupkowych. Przykładowo na rysunku 2.9 przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń odkształceń dla spągnic, a na rysunku 2.10. dla łączników lemniskatowych przednich.



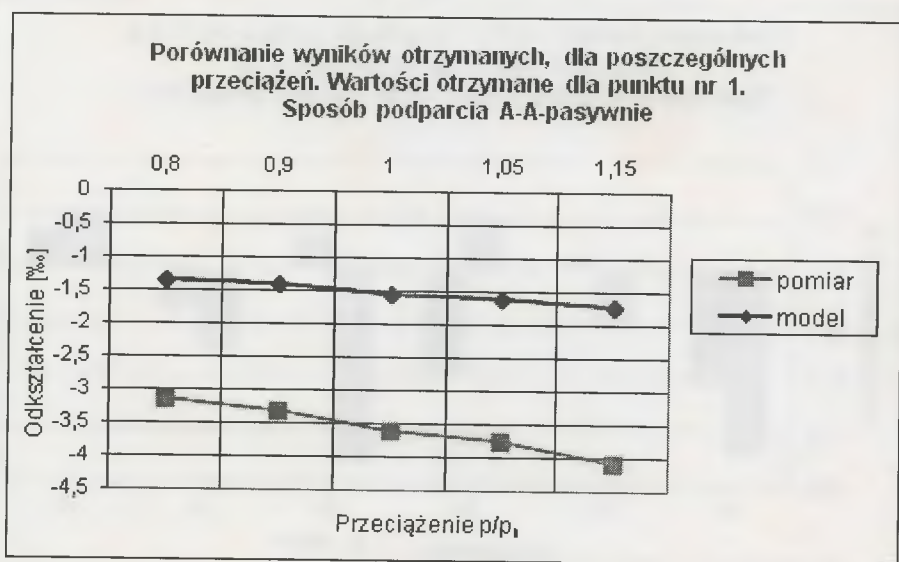
Rys. 2.9. Porównanie wartości odkształcenia na spągnicach dla podparcia A-A-p przy pasywnym obciążeniu 1,3 p/p_n [49]



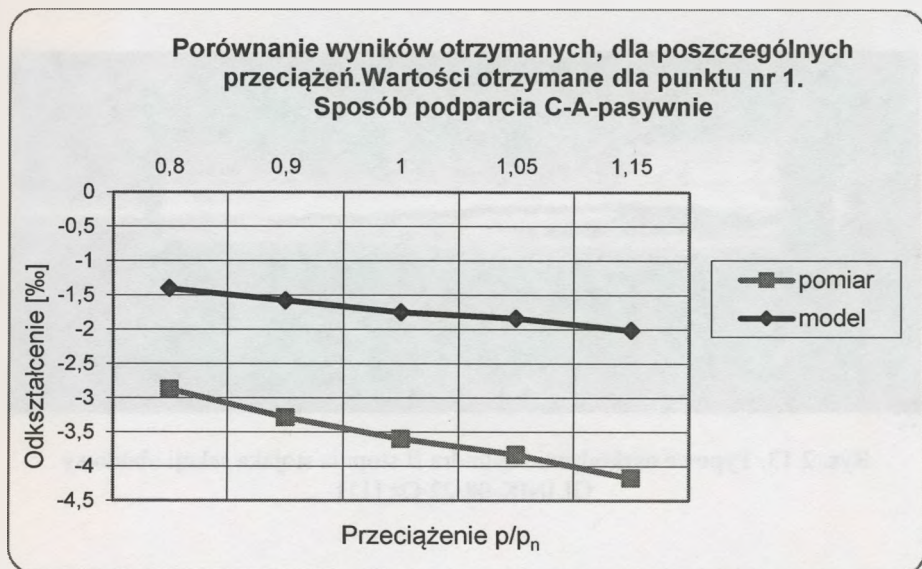
Rys. 2.10. Porównanie wartości odkształcenia na łącznikach lemniskatowych przednich dla podparcia C-A-p przy pasywnym obciążeniu 1,15 p/p_n [49]

Porównanie wyników badań stanowiskowych i wyników obliczeń pozwala na sformułowanie następujących wniosków [49]:

- stwierdzono zgodność znaków odkształceń względnych zarejestrowanych na tensometrach pomiarowych i tensometrach wirtualnych. Jedyne odstępstwo zaobserwowano dla łączników przednich (rys. 2.10). Wynika to z nierównomiernego rozkładu obciążenia łączników. Spowodowało to uplastycznienie łącznika, czego nie stwierdzono na modelu obliczeniowym.
- stwierdzono rozbieżności w wartościach odkształceń względnych (rys. 2.9 i 2.10). Wynika to przede wszystkim ze stopnia zużycia sekcji obudowy przejawiającego się między innymi niejednorodnym obciążeniem łączników. Nawet w przypadku symetrycznego schematu podparcia sekcji odkształcenia łącznika lewego i prawego, zarejestrowane w badaniach, różniły się.
- w strefach uplastycznionych, zidentyfikowanych w trakcie badań stanowiskowych, utrzymywał się w przybliżeniu stały charakter zmienności różnic pomiędzy wynikami pomiarów a obliczeń (rys. 2.11 do 2.12).



Rys. 2.11. Porównanie odkształceń zarejestrowanych i obliczonych dla podparcia symetrycznego A-A [49]



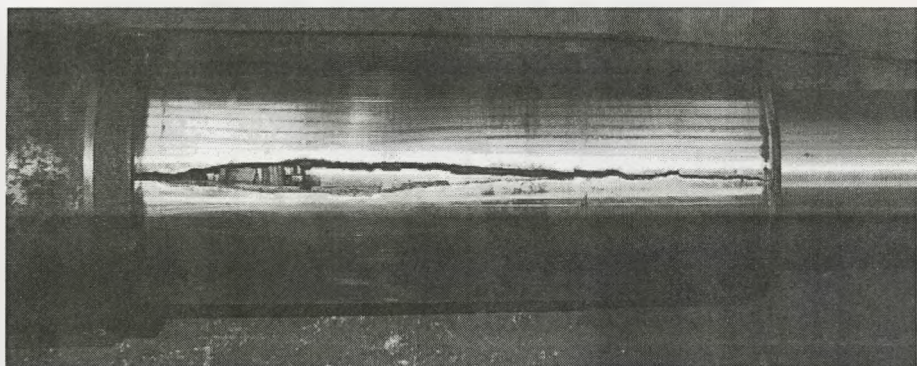
Rys. 2.12. Porównanie odkształceń zarejestrowanych i obliczonych dla podparcia niesymetrycznego C-A [49]

Reasumując: porównanie wyników pomiarów odkształceń względnych sekcji obudowy zmechanizowanej, charakteryzującej się dużym stopniem zużycia a wynikami obliczeń wykonanych z wykorzystaniem modelu MES, w którym uwzględniono zidentyfikowane ubytki, świadczy o konieczności równoległego prowadzenia badań doświadczalnych i analiz wytrzymałościowych w procesie oceny stanu technicznego użytkowanej uprzednio sekcji obudowy.

2.1.1.2. Analiza wyłączenia dwuteleskopowego stojaka hydraulicznego

Podstawowym elementem podporowym sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej jest stojak hydrauliczny. Z praktyki projektowej i eksploatacyjnej wynika, że szczególnie niekorzystne jest zastosowanie dwuteleskopowych stojaków hydraulicznych z otworami konstrukcyjnymi wierconymi wzdłuż płaszczy cylindrów, które prowadzą do lokalnej koncentracji naprężenia i uszkodzenia po stosunkowo krótkim okresie użytkowania cylindra [11]. Stojaki takie zastosowano między innymi w sekcjach obudowy zmechanizowanej Glinik-08/22-Oz.

W KOMAG-u przeprowadzono badania stanowiskowe kilkudziesięciu takich stojaków. Obciążenie niszczące stojak zdeterminowane było wytrzymałością cylindra II stopnia. Zniszczenie następowało wskutek pęknięcia cylindra wzdłuż otworu konstrukcyjnego (rys. 2.13).



Rys. 2.13. Typowe uszkodzenie cylindra II stopnia stojaka sekcji obudowy
GLINIK-08/22-Oz [11]

Przedmiotem analizy wytrzymałościowej była rura cylindra II stopnia hydraulicznego stojaka dwuteleskopowego o średnicach zewnętrznej 195 mm i wewnętrznej 160 mm.

Rozpatrując cylinder jako rurę grubościenną poddaną działaniu tylko ciśnieniu wewnętrznemu p , można zgodnie z wzorami Lamego [44] wyznaczyć naprężenie promieniowe σ_r i obwodowe σ_t :

$$\sigma_r = \frac{r_1^2 \cdot p}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) \quad (2.1)$$

$$\sigma_t = \frac{r_1^2 \cdot p}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) \quad (2.2)$$

gdzie: r_1 – promień wewnętrzny rury, r_2 – promień zewnętrzny rury, r - współrzędna promieniowa punktu cylindra

Ekstremalne wartości naprężenia wynoszą:

$$\begin{aligned} \text{dla } r = r_1 \quad \sigma_r &= -p \\ r = r_2 \quad \sigma_r &= 0 \\ \text{dla } r = r_1 \quad \sigma_t &= \sigma_{t_{\max}} = \frac{r_1^2 + r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot p \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$r = r_2 \quad \sigma_t = \sigma_{t_{min}} = 2 \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot p \quad (2.4)$$

W przypadku działania ciśnienia na dno rury grubościennej siły podłużne wywołują naprężenia podłużne:

$$\sigma_z = \frac{p \cdot r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2)} \quad (2.5)$$

Stosując hipotezę wyężeniową energii odkształcenia postaciowego największe naprężenie zredukowane wynosi [4]:

$$\sigma_{red_{max}} = \sqrt{3} \cdot \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot p \quad (2.6)$$

i występuje przy $r = r_1$.

W związku z tym odkształcenia trwałe pojawiają się najpierw na wewnętrznej powierzchni rury, gdy σ_{red} osiągnie wartość równą granicy plastyczności materiału. Pojawienie się odkształceń na wewnętrznej powierzchni rury nie oznacza zniszczenia, ani utraty nośności stojaka [11].

Pełna utrata nośności nastąpi wtedy, gdy strefa odkształceń plastycznych rozprzestrzeniających się od wewnętrznej powierzchni rury osiągnie powierzchnię zewnętrzną. Zniszczenie natomiast nastąpi wtedy, gdy naprężenie zredukowane na zewnętrznej powierzchni rury osiągnie wartość równą wytrzymałości materiału.

Oprócz analiz teoretycznych przedstawionych powyżej, w Laboratorium Badań prowadzono obszerne badania stanowiskowe stojaków hydraulicznych o różnej postaci konstrukcyjnej.

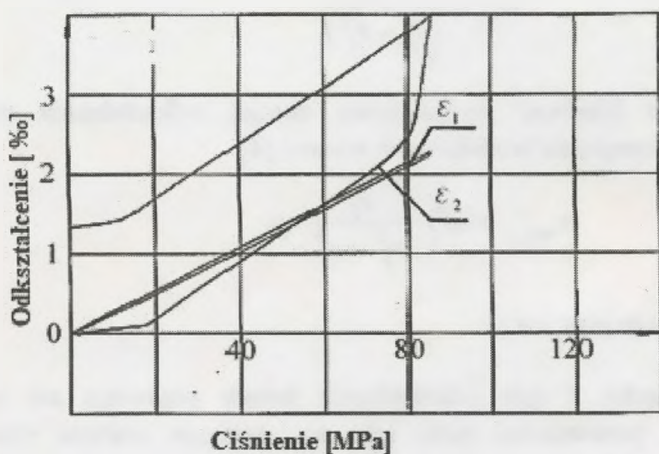
W celu wyznaczenia odkształceń rury cylindra w trakcie badań wytrzymałościowych stojaków wykonano pomiary obwodowych wydłużeń względnych na powierzchni zewnętrznej rury. Pomiary wykonano za pomocą tensometrów oporowych typu RL 10/120 naklejonych obwodowo na powierzchni zewnętrznej rury.

Ciśnienie cieczy w przestrzeni podtłokowej I stopnia mierzono za pomocą przetwornika tensometrycznego ciśnienia o zakresie do 100 MPa.

Sygnały napięciowe z obu czujników zostały wzmocnione przez wzmacniacze tensometryczne, a następnie zarejestrowane i odtworzone

w postaci wykresów obwodowych wydłużeń względnych ε rur cylindrów I i II stopnia w funkcji ciśnienia cieczy p w przestrzeni podtłokowej cylindra I stopnia.

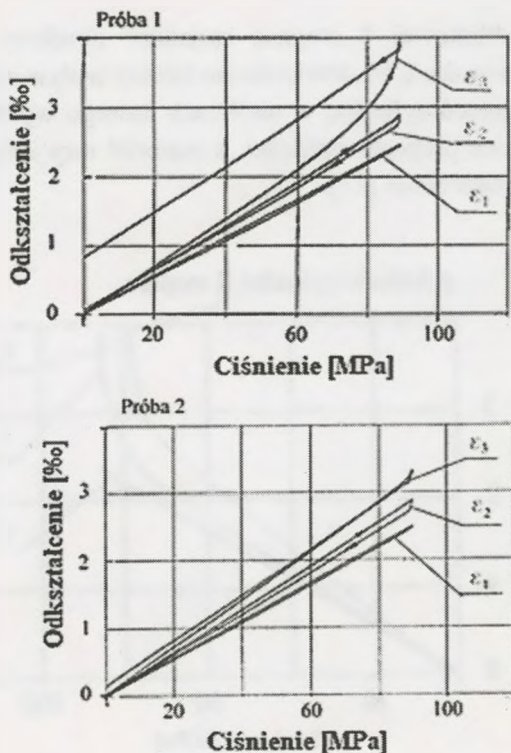
Na rysunku 2.14 przedstawiono wykresy wydłużeń względnych podczas badania wytrzymałości granicznej stojaka dwuteleskopowego $\phi 210/160$ sekcji obudowy Glinik-08/22-Oz.



Rys. 2.14. Wykresy obwodowych wydłużeń względnych ε_1 spodnika i ε_2 cylindra II stopnia w funkcji ciśnienia cieczy p w przestrzeni podtłokowej I stopnia stojaka $\phi 210/160$ obudowy Glinik-08/22-Oz [11]

Miejsce zakrzywienia charakterystyki wskazuje przekroczenie granicy proporcjonalności i w dalszym etapie odkształcenia plastyczne oraz rozerwanie rury cylindra II stopnia.

Na rysunku 2.15 przedstawiono wykresy wydłużeń względnych rur cylindrów w funkcji ciśnienia dla kolejnych, coraz to większych obciążeń stojaka.

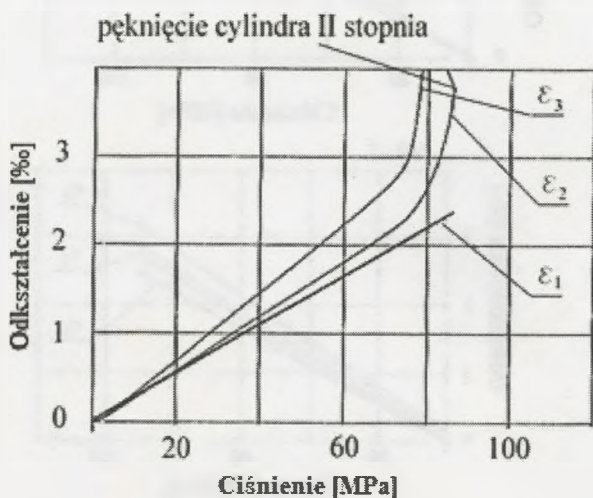


Rys. 2.15. Wykresy obwodowych wydłużeń względnych ϵ_1 spodnika oraz ϵ_2 i ϵ_3 cylindra II stopnia w funkcji ciśnienia cieczy p w przestrzeni podtłokowej I stopnia stojaka ϕ 210/160 obudowy Glinik-08/22-Oz dla dwóch kolejnych przeciążeń [11]

Podczas drugiej próby obciążania stojaka przekroczenie granicy proporcjonalności nastąpiło przy większym ciśnieniu (materiał rury poddany został większym naprężeniom) w odniesieniu do próby pierwszej, gdyż przy zwiększaniu się odkształceń plastycznych w kolejnych cyklach obciążenia materiał umacnia się, co skutkuje zwiększonym zakresem liniowej zależności wydłużenia względnego od ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Podczas użytkowania stojaka, przy wielokrotnych przeciążeniach powyżej granicy proporcjonalności materiału rury, granica plastyczności może pokryć się z granicą wytrzymałości i nastąpi wtedy nagłe zniszczenie stojaka [11].

W trzech stojakach sekcji obudowy Glinik-08/22-Oz wykonano również pomiary obwodowych wydłużeń względnych w okolicy wzdłużnego otworu konstrukcyjnego rury cylindra II stopnia oraz poza tym otworem. Wykresy obwodowych wydłużeń względnych rury cylindra II stopnia w funkcji ciśnienia

w przestrzeni podtłokowej I stopnia stojaków obudowy Glinik-08/22-Oz przedstawiono na rysunku 2.16. Stwierdzono istotny wpływ wykonanego otworu na wielkość odkształceń cylindra, w okolicach którego wydłużenia są większe i przekraczają granice proporcjonalności, a materiał rury odkształca się trwale, a następnie ulega zniszczeniu [11].



Rys. 2.16. Wykresy wydłużeń względnych ε_1 cylindra oraz ε_2 i ε_3 rdzennika (cylindra II stopnia) w funkcji ciśnienia cieczy p_p w przestrzeni podtłokowej I stopnia stojaka ϕ 210/160 obudowy Glinik-08/22-Oz. ε_3 – wydłużenie względne w okolicach otworu osiowego w ścianie cylindra II stopnia [11]

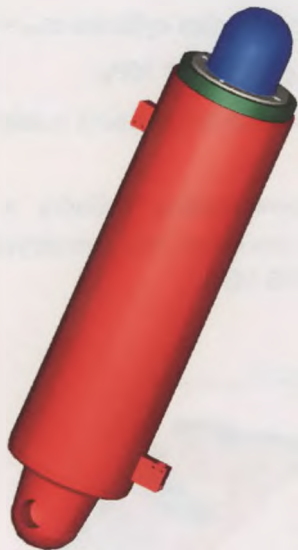
Wyniki omówionych badań stanowiskowych oraz obserwowane skutki przeciążeń dynamicznych stojaków zainstalowanych w wyrobiskach ścianowych [42] upoważniają do stwierdzenia, że inicjacja uszkodzenia stojaka następuje w otoczeniu otworów podłużnych w rurze cylindra, co świadczy o znacznym osłabieniu rury cylindra.

2.1.1.3. Porównanie wyników obliczeń numerycznych z wynikami pomiarów wykonanych na stanowisku

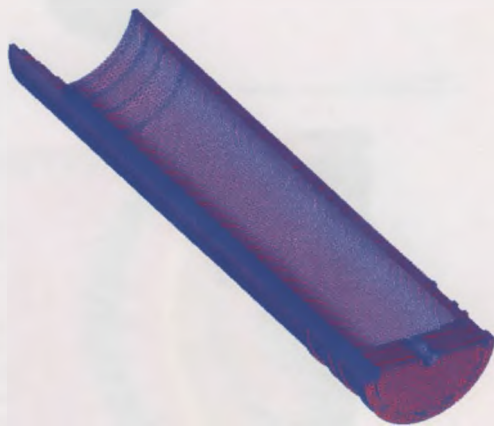
Oprócz badań stanowiskowych przeprowadzono również analizę stanu wyężenia płaszcza cylindra przy zastosowaniu metody elementów skończonych (MES). Celem weryfikacji modelu numerycznego porównano wyniki oszacowania naprężenia zredukowanego na podstawie wykonanych pomiarów stanu odkształcenia z wynikami obliczeń numerycznych naprężenia

zredukowanego w obszarze cylindra (okolice otworu) o największej koncentracji naprężeń. Przyjęto liniowo – sprężysty moduł materiału.

Model stojaka sekcji obudowy Glinik-08/22-Oz przedstawiono na rysunku 2.17, siatkę elementów skończonych cylindra na rysunku 2.18.



Rys. 2.17. Model stojaka hydraulicznego $\Phi 210/160$ utworzony w programie CAD [11]

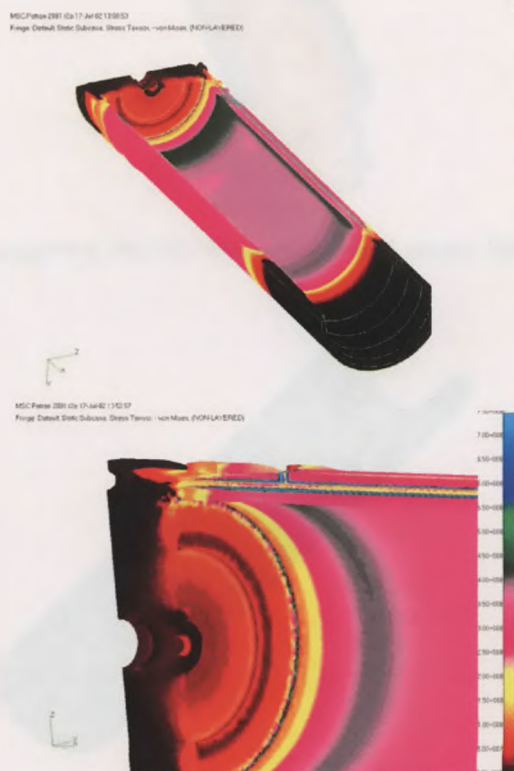


Rys. 2.18. Siatka elementów skończonych modelu cylindra II stopnia stojaka hydraulicznego $\Phi 210/160$ [11]

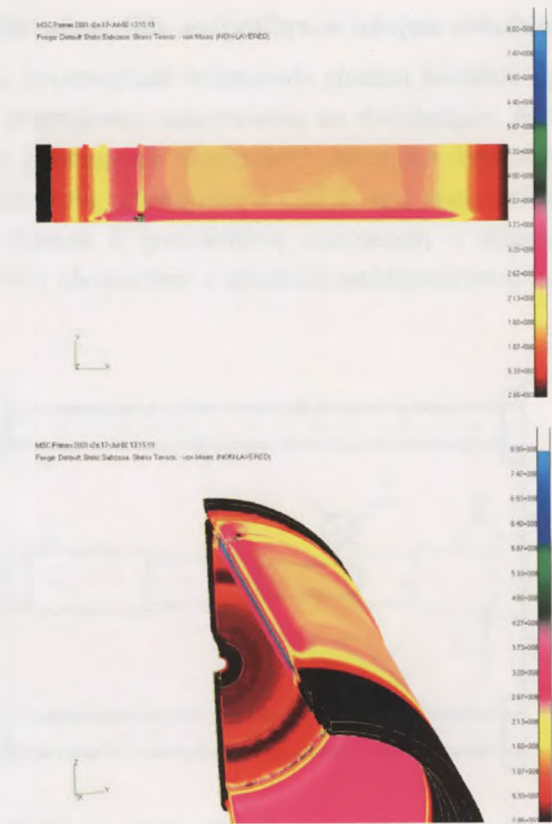
Mapy naprężeń (rys. 2.19 i 2.20) przedstawiają naprężenia zredukowane, obliczone według hipotezy Hubera [44]. Wartości naprężenia wyrażone są w paskalach.

Maksymalne wartości naprężenia zredukowanego obliczone metodą elementów skończonych są następujące:

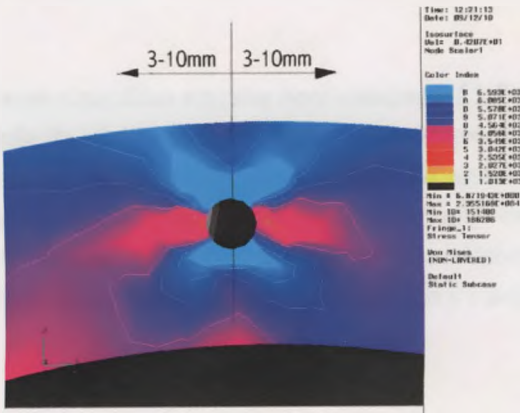
- na wewnętrznej powierzchni cylindra $\sigma_{\text{red}} = 540 \text{ MPa}$,
- na ścianie otworu $\sigma_{\text{red}} = 1080 \text{ MPa}$,
- na zewnętrznej powierzchni cylindra z dala od otworu konstrukcyjnego $\sigma_{\text{red}} = 399 \text{ MPa}$,
- na zewnętrznej powierzchni cylindra w okolicy otworu, ale nie bezpośrednio nad otworem lecz symetrycznie w odległości 3-10 mm (rys. 2.21) $\sigma_{\text{red}} = 450 \text{ MPa}$.



Rys. 2.19. Mapy rozkładu naprężenia zredukowanego (ujęcia 1 i 2) [11]



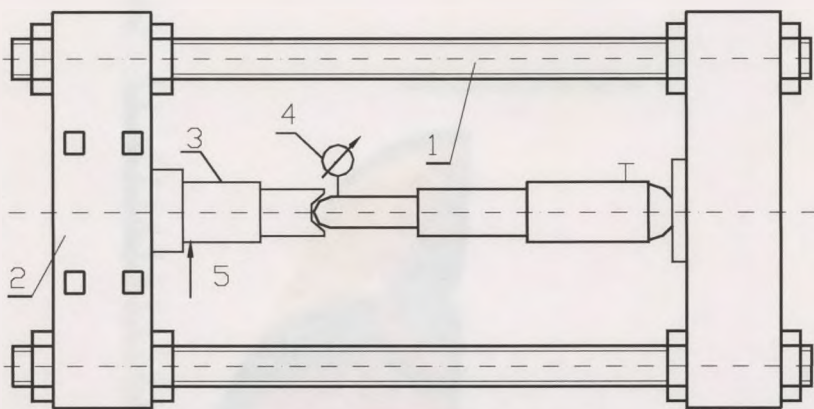
Rys. 2.20. Mapy rozkładu naprężenia zredukowanego (ujęcia 3 i 4) [11]



Rys. 2.21. Mapa rozkładu naprężenia zredukowanego w okolicy otworu w ścianie stojaka [11]

Badania stanowiskowe stojaka weryfikujące obliczenia MES

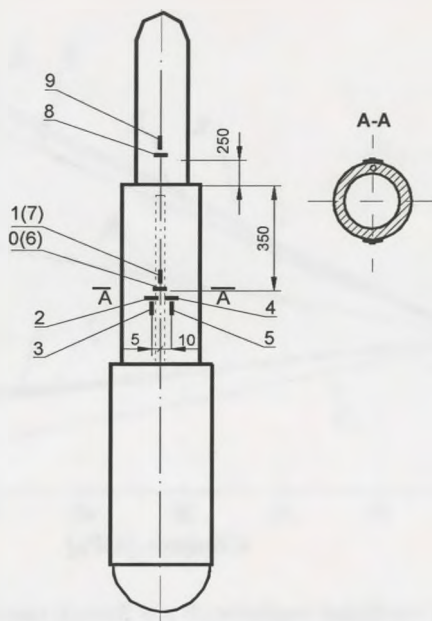
Weryfikacja obliczeń metodą elementów skończonych sprowadziła się do pomiaru wydłużeń względnych na powierzchni zewnętrznej cylindra i na ich podstawie wyznaczenia naprężeń. Obciążenie statyczne w stojaku rozpartym w stanowisku badawczym (rys. 2.22.) wywoływano siłownikiem zewnętrznym $\phi 250$ mm. Ciśnienie w przestrzeni podłokowej II stopnia stojaka mierzono tensometrycznym przetwornikiem ciśnienia o zakresie do 100 MPa.



Rys. 2.22. Schemat stanowiska badawczego [11]

1 – śruba prowadząca, 2 – trawers, 3 – siłownik obciążający, 4 – manometr,
5 – zasilanie siłownika obciążającego

Na rysunku 2.23 przedstawiono miejsca naklejenia tensometrów oporowych na powierzchni zewnętrznej cylindra II stopnia stojaka obudowy Glinik-08/22-Oz. Ponieważ w cylindrze występuje dwukierunkowy stan odkształcenia w każdym punkcie pomiarowym naklejono dwa tensometry, jeden osiowo, a drugi obwodowo. Dodatkowo naklejono również tensometry na rdzenniku, w przypadku stojaka z rdzennikiem wypełnionym cieczą (pkt. 8 i 9).



Rys. 2.23. Rozmieszczenie punktów tensometrycznych na badanym stojaku $\phi 210/160$ [11]

Wartości naprężeń głównych obliczono z zależności (2.7) i (2.8) wykorzystując wartości wydłużeń względnych z wykresu (rys. 2.24) sporządzonego na podstawie wykonanych pomiarów:

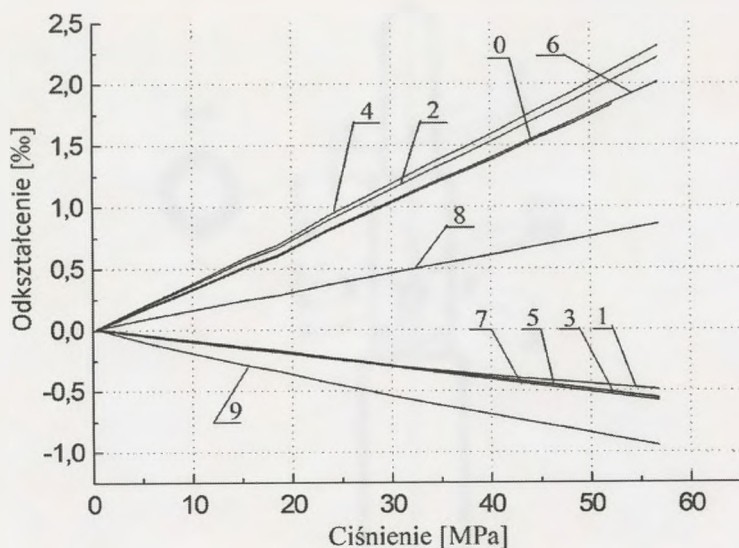
$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \nu \cdot \varepsilon_2) \quad (2.7),$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_2 + \nu \cdot \varepsilon_1) \quad (2.8),$$

natomiast naprężenie zredukowane wg hipotezy Hubera z zależności [44]:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \quad (2.9)$$

gdzie: E – moduł sprężystości podłużnej (moduł Younga),
 ν – współczynnik przewężenia poprzecznego (liczba Poissona),
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – wydłużenia główne.



Rys. 2.24. Wykresy wydłużeń względnych ϵ w funkcji ciśnienia cieczy w przestrzeni II stopnia stojaka $\Phi 210/160$ [11]

Wartości naprężenia zredukowanego wyznaczone doświadczalnie zamieszczono w tabeli 2.2.

Wartości wydłużeń względnych i naprężeń dla 1,5-krotnego ciśnienia roboczego [11]

Tabela 2.2

pkt. pom. z rys. 2.23	ϵ_1 [mm/m]	ϵ_2 [mm/m]	σ_1 [MPa]	σ_2 [MPa]	σ_{red} [MPa]
00	1,986		480,4		416,1
01		0,489		244,4	
02	2,213		536,5		464,7
03		0,561		275,9	
04	2,309		557,9		483,2
05		0,558		281,8	
06	2,013		492,7		427,2
07		0,580		266,7	
08	0,858		257,4		264,9
09		0,949		271,8	

W tabeli 2.3 zestawiono wyniki obliczeń naprężeń zredukowanych występujących na powierzchni zewnętrznej cylindra podczas jego 1,5-krotnego przeciążenia w odniesieniu do ciśnienia roboczego.

Zestawienie wartości naprężenia zredukowanego w rurze cylindra [11]

Tabela 2.3

Miejsce naprężeń na powierzchni zewnętrznej	Naprężenia zredukowane [MPa]	
	MES	Pomiary tensometryczne
Z dala od otworu	399	427
Nad osią otworu	360	416
5 mm od osi otworu	450	465
10 mm od osi otworu		483

Obliczone wartości naprężenia zredukowanego metodą elementów skończonych są mniejsze od uzyskanych w wyniku pomiarów tensometrycznych od 3 do 15%.

Jak wynika z mapy rozkładu naprężenia w okolicy otworu w ścianie stojaka, największe naprężenia nie występują na powierzchni zewnętrznej nad osią otworu, ale w obszarze przesuniętym od $3 \div 10$ mm (rys. 2.21), co potwierdziły pomiary tensometryczne (tabela 2.3). Naprężenia nad osią otworu (pkt. pom. 0 i 1 na rys. 2.23) są również mniejsze od naprężenia na powierzchni zewnętrznej z dala od otworu (pkt. pom. 6 i 7 na rys. 2.23).

Obliczenia MES wykazały, że przesunięcie otworu konstrukcyjnego w kierunku wewnętrznej powierzchni cylindra spowoduje korzystniejszy rozkład naprężenia na zewnętrznej powierzchni cylindra.

Odpowiednie zwiększenie grubości ścianki cylindra ograniczy niekorzystny wpływ otworu konstrukcyjnego na wytrzymałość cylindra.

Porównanie wyników otrzymanych metodą elementów skończonych z wynikami doświadczalnymi potwierdza zasadność stosowania tej metody, zwłaszcza w miejscach spiętrzenia naprężeń, ze względu na utrudniony dostęp, uniemożliwiający bezpośredni pomiar.

2.1.2. Zastosowanie metody kruchych pokryć do określenia nośności granicznej

Do weryfikacji uproszczonej metody wyznaczania nośności granicznej osłony odzawałowej zastosowano metodę kruchych pokryć, stosowaną zazwyczaj do wstępnego określenia kierunków odkształceń głównych.

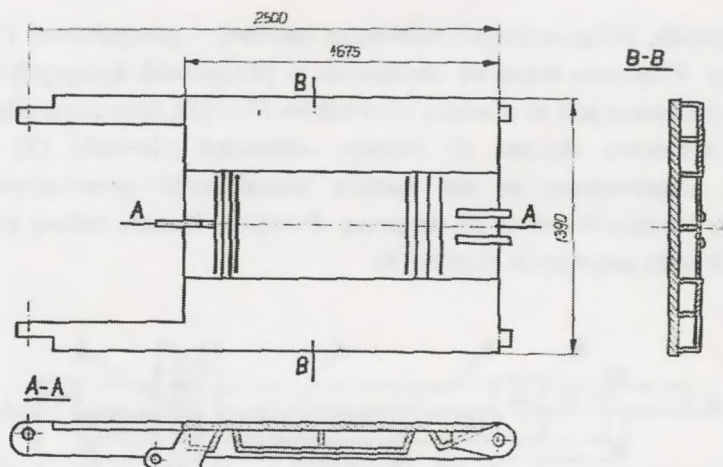
Celem badań zrealizowanych w Laboratorium Badań KOMAG-u było doświadczalne wyznaczenie przebiegu linii załomów – przegubów plastycznych powodujących przekształcenie sztywnej struktury osłony odzawałowej w mechanizm oraz wyznaczenie wartości obciążenia granicznego – obciążenia zewnętrznego, przy którym osłona przekształca się w mechanizm.

Wyniki pomiarów – wartość obciążenia granicznego – $Q_{gr.b}$ traktowanego jako obciążenie zewnętrzne osłony, przy którym następuje gwałtowny przyrost przemieszczenia jej punktów (patrz rys. 2.31) oraz usytuowanie linii załomów porównano z wyznaczonymi teoretycznie: obciążeniem granicznym – $Q_{gr.t}$ i położeniem linii załomów określonymi metodą nośności granicznej. Uproszczony sposób wyznaczania obciążenia granicznego osłony odzawałowej przedstawiono szczegółowo w [46].

Ponieważ badania nośności granicznej są badaniami niszczącymi, to do weryfikacji opracowanego sposobu wyznaczania nośności granicznej wykorzystano osłony odzawałowe prototypowej sekcji obudowy typu KOMAG I, która nie została wdrożona do użytkowania (rys. 2.25).

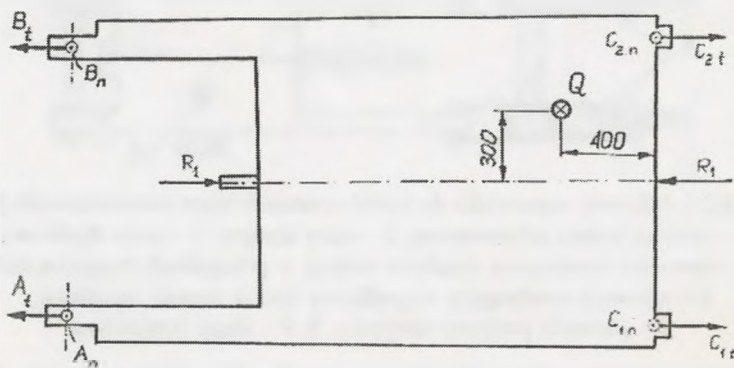
Reakcje A_n , A_t , B_n , B_t w połączeniach przegubowych stropnicy i osłony oraz reakcje C_{1n} , C_{1t} , C_{2n} i C_{2t} w przegubie centralnym łączącym osłonę ze spągnicą wyznaczono z warunków równowagi poszczególnych elementów sekcji. Obciążenie zewnętrzne osłony naciskiem rumowiska skalnego tworzącego zawał, modelowano za pomocą siły skupionej Q przyłożonej w punkcie, którego współrzędne podano na rysunku. Siła R_1 modeluje oddziaływanie podpory stropnicy na osłonę. W odróżnieniu od reakcji w przegubach i siły Q , których proste działania są równoległe do płaszczyzny płyty górnej osłony lub do niej prostopadłe, prosta działania siły R_1 tworzy z płytą górną osłony kąt 10° wynikający z geometrii sekcji.

Ponieważ program badań przewidywał obciążenie osłony aż do zniszczenia, to należało je przeprowadzić na specjalnym stanowisku badawczym. Przeprowadzenie tych badań poprzez obciążanie kompletnej sekcji obudowy jest niemożliwe, gdyż w trakcie takich badań uszkodzeniu ulega najsłabszy element sekcji, a z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że tym najsłabszym elementem nie jest osłona odzawałowa.



Rys. 2.25. Osłona odzawałowa sekcji obudowy zmechanizowanej typu KOMAG I [46]

Jeden ze zrealizowanych schematów obciążenia osłony przedstawiono na rysunku 2.26.



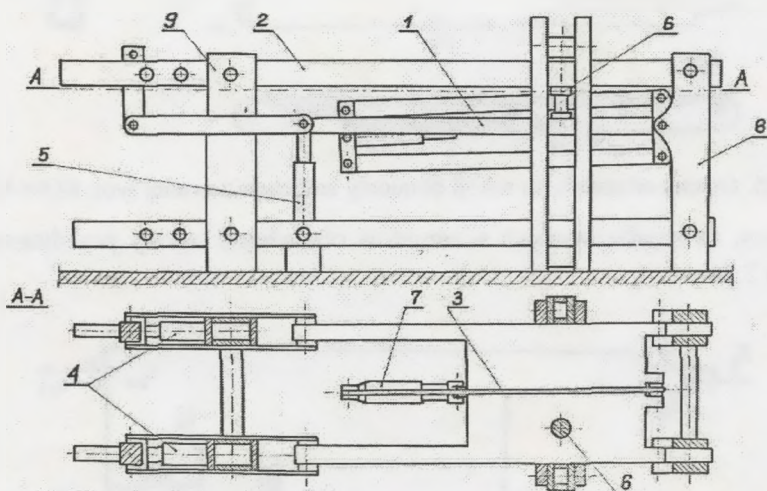
Rys. 2.26. Przykładowy schemat obciążenia osłony odzawałowej, zrealizowany w trakcie badań [46]

Stanowisko badawcze powinno umożliwić zrealizowanie w osłonie odzawałowej stanu obciążenia, analogicznego do występującego w osłonie zamontowanej w sekcji obudowy zmechanizowanej. Pola przemieszczeń osłony zabudowanej w sekcji i osłony obciążonej na stanowisku badawczym również powinny być identyczne.

Wszystkie powyższe wymogi spełnia przegubowo-ramowa konstrukcja stanowiska (rys. 2.27), na którym przeprowadzono badania.

Celem zapewnienia wymaganego sposobu obciążenia oraz pola przemieszczeń, siły obciążające osłonę realizowane były za pomocą siłowników

hydraulicznych, umieszczonych wewnątrz ramowo – przegubowej konstrukcji stanowiska. Fizycznie możliwe obciążenie w przegubach łączących osłonę ze stropnicą zadawane jest za pomocą siłowników (4) i (5), przy czym siłowniki (4) realizują składową styczną do osłony, natomiast siłowniki (5) składową normalną. Zapewniono w ten sposób niezależność przemieszczania się przegubów łączących osłonę ze stropnicą. Przeguby łączące osłonę ze spągnicą zamocowano do sztywnych słupów (8).



Rys. 2.27. Schemat stanowiska do badań nośności osłon odzawałowych [46]:

- 1 – badana osłona odzawałowa, 2 – ramy skrajne, 3 – rama środkowa,
- 4, 5 – siłowniki modelujące składowe reakcji w przegubach stropnica-osłona,
- 6 – siłownik modelujący wypadkowy nacisk zawалу na osłonę,
- 7 – siłownik podpory stropnicy, 8, 9 – słupy stanowiska

Obciążenie osłony, pochodzące od siłownika podpory stropnicy realizowane jest za pomocą siłownika hydraulicznego (7), zamocowanego do ramy środkowej (3). Ramy skrajne (2) połączone są przegubowo ze słupami (8) i (9), sztywno utwierdzonymi do podłoża.

Wypadkowy nacisk zawalu na osłonę realizowany był przez siłownik (6), zamocowany do układu belek, połączonych przegubowo, opartych w czasie jego rozpierania, o dolne belki ram (2). Rozwiązanie takie zapewnia możliwość realizacji obciążenia pochodzącego od górotworu, w dowolnym punkcie osłony.

W miejscu działania siłownika (6), realizującego wypadkowe obciążenie osłony naciskiem zawalu, zamontowano czujnik indukcyjny typu IWT 402 (o skoku pomiarowym 100 mm), służący do pomiaru ugięcia osłony. Rdzeń czujnika na stałe zamocowany był do dolnej powierzchni płyty osłony,

natomiast jego korpus przymocowano za pomocą dodatkowej belki do słupów (8) i (9) stanowiska.

Układ hydrauliczny stanowiska umożliwił niezależne zasilanie wszystkich siłowników, realizujących obciążenie osłony Szczegółowy opis budowy omawianego stanowiska przedstawiono w [43].

Po zamontowaniu obiektu badań na stanowisku, powierzchnię płyty górnej osłony, oczyszczoną z rdzy i odłuszczoneą, podgrzano nagrzewnicą do temperatury $120 \pm 20^{\circ}\text{C}$, a następnie pokryto warstwą kruchego pokrycia w postaci ciekłej kalafonii z dodatkiem palatinolu C w proporcji 380 : 1. Po nałożeniu kruchego pokrycia wyłączono nagrzewnicę i pozostawiono osłonę na stanowisku aż do ostygnięcia.

Zasadnicza część badań polegała na określeniu mechanizmu zniszczenia osłony i wyznaczeniu wartości obciążenia granicznego celem ich porównania z mechanizmem zniszczenia osłony i jej obciążeniem granicznym wyznaczonymi teoretycznie. W związku z tym w trakcie badań zrealizowano 4 warianty obciążenia osłony, zgodnie z wariantami obciążenia przyjętymi w obliczeniach teoretycznych. Tok postępowania można przedstawić następująco:

1. Likwidację ewentualnych luzów w przegubach łączących osłonę ze stanowiskiem, zrealizowano w drodze zadawania wstępnego ciśnienia, wynoszącego 0,49 MPa we wszystkich siłownikach stanowiska. Przy tak zadanym obciążeniu wstępnym osłony zerowano wskazanie czujnika indukcyjnego.
2. Obciążano osłonę zwiększając stopniowo ciśnienie we wszystkich siłownikach stanowiska. Program obciążania obiektu badań ustalono korzystając z warunków równowagi elementów sekcji. Równania równowagi umożliwiają bowiem w rozpatrywanym przypadku, przy zadanej wysokości sekcji, wynoszącej 2,4 m oraz ustalonej podporności sekcji (1000 kN) i sile w podporze stropnicy (400 kN) – uzależnienie reakcji w połączeniach przegubowych osłony od obciążenia zewnętrznego Q . W tabeli 2.4 zestawiono wartości sił w poszczególnych siłownikach wywołujących obciążenie zewnętrzne osłony i reakcje podporowe w poszczególnych przegubach. Wyznaczono je korzystając z wyników pomiaru ciśnienia w przestrzeni roboczej siłownika.
3. Po uzyskaniu obciążenia przewidzianego w danym etapie programu badań, notowano maksymalne ugięcie płyty, wskazywane przez czujnik indukcyjny.

4. W czasie badań obserwowano powierzchnię kruchego pokrycia celem określenia miejsc, w których wystąpiły pęknięcia, a tym samym rejestracji poszczególnych faz tworzenia się linii załomu.
5. Badania kontynuowano do momentu uplastycznienia przekroju osłony wzdłuż tworzonych linii załomu.
6. Po odciążeniu osłony wykonywano pomiary umożliwiające odtworzenie przebiegu linii załomu oraz dokonywano dokumentacji fotograficznej mechanizmu zniszczenia.

Program badań przedstawiony w tabeli 2.4 zastosowano przeprowadzając testy dwóch osłon odzawałowych.

Podczas realizacji kolejnych etapów obciążenia zauważono, że pierwsze spękania kruchego pokrycia pojawiły się przy uchu tylnym, łączącym osłonę ze stanowiskiem oraz w miejscu działania wypadkowego obciążenia Q . Dalsze obciążanie spowodowało przesuwanie się strefy spękań od siłownika, modelującego obciążenie pochodzące od zawалу, w kierunku brzegów osłony. Ukształtowany w ten sposób obszar spękań (rys. 2.28) nie zmienił się do chwili osiągnięcia przez osłonę stanu granicznego. W miarę wzrostu obciążenia zwiększała się tylko liczba spękań kruchego pokrycia.

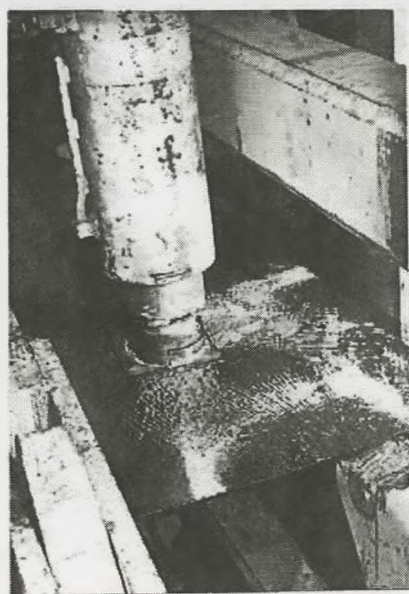
Program obciążania osłony odzawałowej przy realizacji wariantu obciążenia przedstawionego na rysunku 2.26

Tabela 2.4

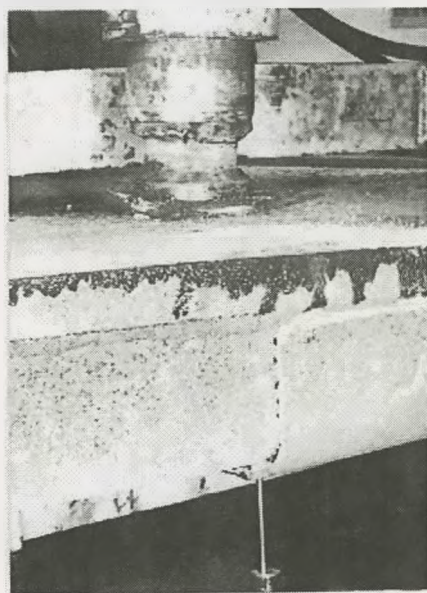
Etap obciążenia	Q , kN	p_6 , MPa	A_1 , kN	p_{4A} , MPa	B_1 , kN	p_{4B} , MPa	A_n , kN	p_{5A} , MPa	B_n , kN	p_{5B} , MPa
0	—	0,49	—	0,49	—	0,94	—	0,49	—	0,49
1	400	19,90	110,9	2,25	535,0	10,88	205,0	10,20	149,4	31,67
2	600	29,91	135,0	2,75	544,7	11,08	216,8	10,78	127,2	26,97
3	800	39,81	163,9	3,33	559,1	11,37	228,7	11,38	105,0	22,26
4	1000	49,72	188,0	3,82	573,6	11,67	238,5	11,87	-82,8	17,55
5	1050	51,98	195,2	3,97	578,4	11,76	241,5	12,01	-77,7	16,47
6	1100	54,72	202,4	4,12	583,2	11,87	244,4	12,16	-72,1	15,30
7	1150	56,98	209,7	4,27	588,0	11,96	247,4	12,31	-66,6	14,12
8	1200	59,72	216,9	4,41	592,9	12,06	250,3	12,46	-61,0	12,94
9	1250	61,98	224,1	4,56	597,9	12,16	253,3	12,61	-55,5	11,77
10	1300	64,93	231,4	4,71	602,5	12,26	256,2	12,76	-49,9	10,95
11	1350	66,68	238,6	4,85	607,3	12,36	259,2	12,91	-44,4	9,41
12	1400	68,74	245,8	5,00	612,1	12,46	262,2	13,05	-38,8	8,24
13	1450	70,80	253,1	5,15	616,9	12,56	265,1	13,19	-33,3	7,06
14	1500	72,96	260,3	5,30	621,8	12,66	268,1	13,33	-27,7	5,88

W każdej z dwóch przebadanych osłon otrzymano identyczny mechanizm zniszczenia (przebieg linii załomu), jednak uplastycznienie nastąpiło przy różnych wartościach obciążenia. Dla pierwszej osłony badania prowadzono do 14 etapu obciążenia i stwierdzono, że zarejestrowany przyrost ugięcia płyty świadczy o rzeczywistym obciążeniu osłony, praktycznie równym obciążeniu granicznemu.

Badania prowadzone na drugim egzemplarzu osłony przerwano na 10 etapie obciążenia, gdyż w tym momencie stwierdzono wyraźne uplastycznienie osłony wzdłuż linii załomu. Różne otrzymane z badań wartości obciążenia granicznego, spowodowane były niewłaściwie wykonanymi spoinami (fakt ten zauważono jeszcze przed rozpoczęciem badań). Oględziny przeprowadzone po badaniach wykazały, że osłony posiadają spękania wzdłuż spoin łączących ceownik z płytą górną (rys. 2.29).

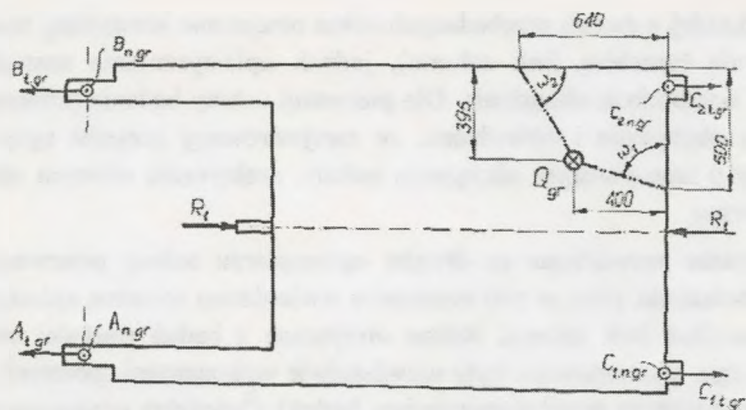


Rys. 2.28. Spękanie kruchego pokrycia wzdłuż linii załomu, pierwszy wariant obciążenia [46]



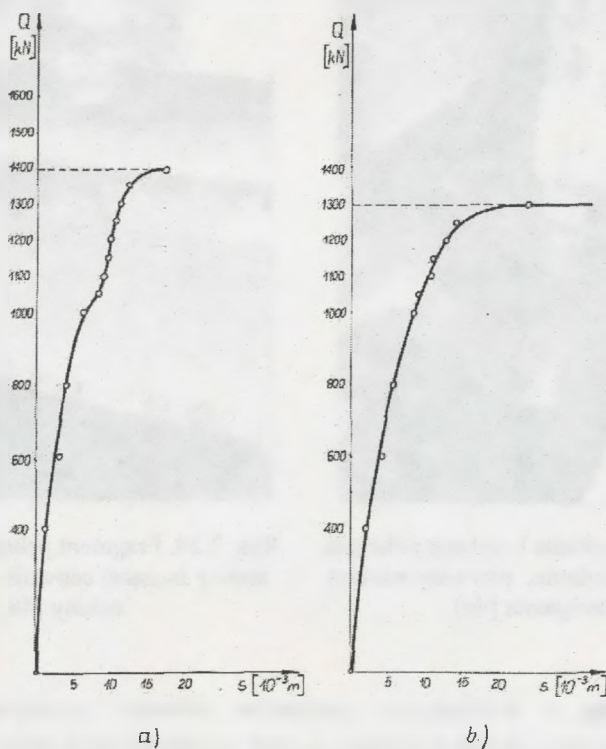
Rys. 2.29. Fragment pęknięcia wadliwej spoiny łączącej ceownik z płytą górną osłony [46]

Korzystając z dokładnych pomiarów obszaru intensywnych spękań określono parametry charakteryzujące kształt i przebieg otrzymanej linii załomu, wspólnej dla obu przebadanych osłon (rys. 2.30).



Rys. 2.30. Przebieg linii załomu w przypadku I. wariantu obciążenia osłony [46]

Pomiary ugięcia – s w miejscu działania wypadkowej siły, modelującej nacisk zawalu na osłonę umożliwiły sporządzenie wykresów $Q = f(s)$ (rys. 2.31).



Rys. 2.31. Wykres siły Q w funkcji ugięcia osłony [46]

Zależności przedstawione na rysunku 2.31, ilustrują proces uplastycznienia przekrojów osłony wzdłuż powstałych linii załomu. Na tej podstawie można wyznaczyć wartość granicznego obciążenia Q_{gr} .

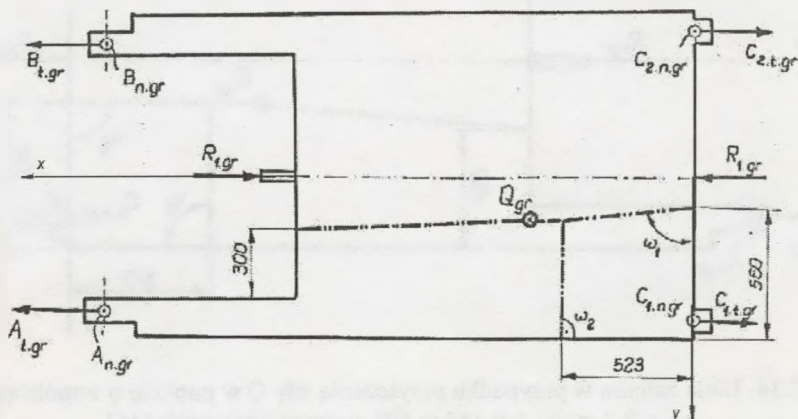
Z przebiegu wykresu $Q = f(s)$, na rysunku 2.31a, wynika, że dla pierwszej przebadanej osłony obciążenie graniczne, wynosi:

$$Q_{gr} = 1400 \text{ kN}$$

Proces plastycznego płynięcia, przy badaniu drugiej osłony, rozpoczął się dla $Q = Q_{gr} = 1300 \text{ kN}$, co zaobserwowano poprzez gwałtowny wzrost ugięcia, przy ustalonej wartości obciążenia Q (rys. 2.31b).

Korzystając z równań równowagi elementów sekcji oraz wyznaczonej wartości siły Q_{gr} można obliczyć pozostałe wartości sił granicznych – reakcji w połączeniach przegubowych, a następnie graniczne wartości sił wewnętrznych w przekrojach osłony wzdłuż linii załomu. Wartości tych sił wewnętrznych są niezbędne do wyznaczenia współczynnika bezpieczeństwa osłony, odniesionego do granicy plastyczności.

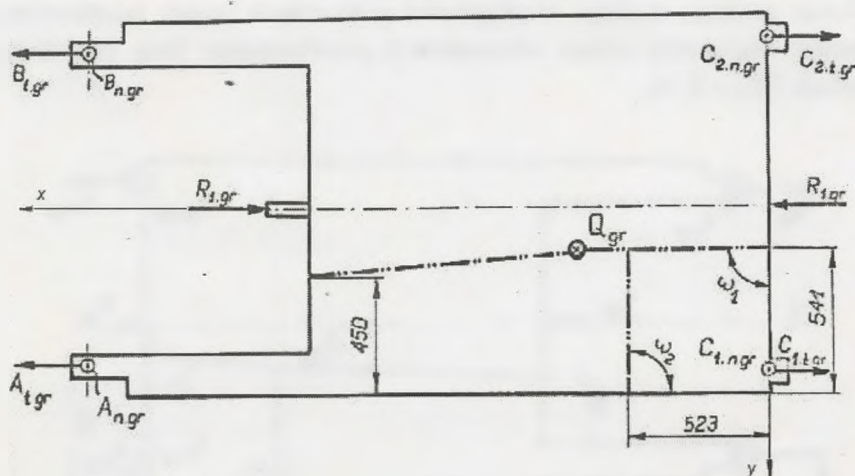
Linie załomu, zyskane w przypadku pozostałych trzech zrealizowanych wariantów obciążenia osłony odzawałowej przedstawiono linią punktową na rysunkach 2.32 ÷ 2.34.



Rys. 2.32. Linia załomu w przypadku przyłożenia siły Q w punkcie o współrzędnych $x_Q = 0,7 \text{ m}$; $y_Q = 0,2 \text{ m}$ (II. wariant obciążenia) [46]

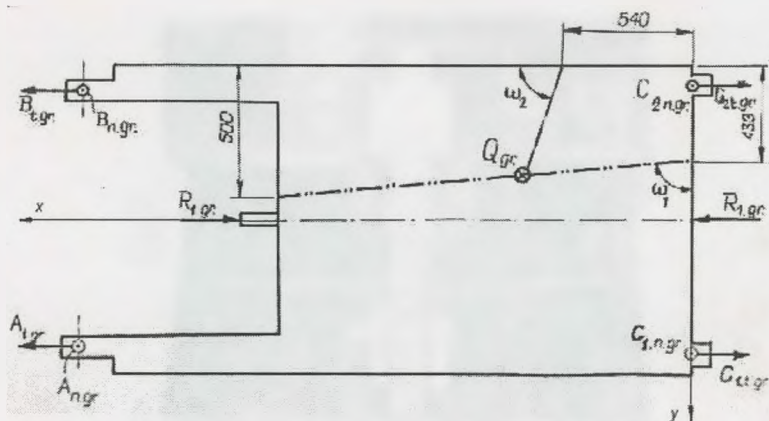


Rys. 2.33. Tworzenie się linii załomu w początkowych etapach obciążania osłony (II. wariant obciążenia) [46]

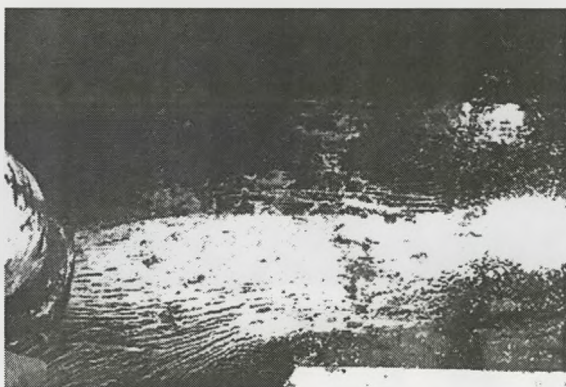


Rys. 2.34. Linia załomu w przypadku przyłożenia siły Q w punkcie o współrzędnych $x_Q = 0,7 \text{ m}$; $y_Q = 0,165 \text{ m}$ (III. wariant obciążenia) [46]

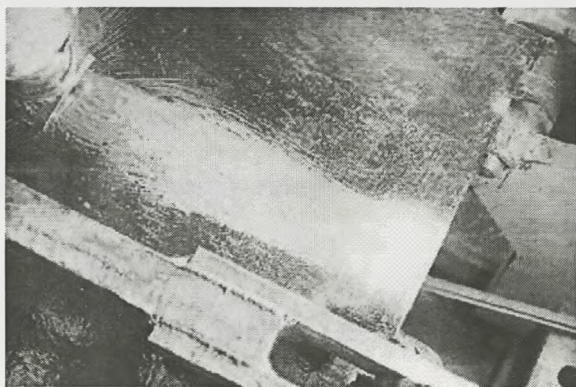
Wyznaczone wartości siły granicznej – $Q_{gr.b}$ i informacje dotyczące liczby osłon poddanych testom zestawiono w tabeli 2.5. Uzyskane w wyniku badań, średnie wartości siły granicznej – $Q_{gr.b.sr}$ porównano z siłami granicznymi – $Q_{gr.t}$ obliczonymi z wykorzystaniem uproszczonej teorii nośności granicznej elementów płytowych sekcji obudowy zmechanizowanej [46].



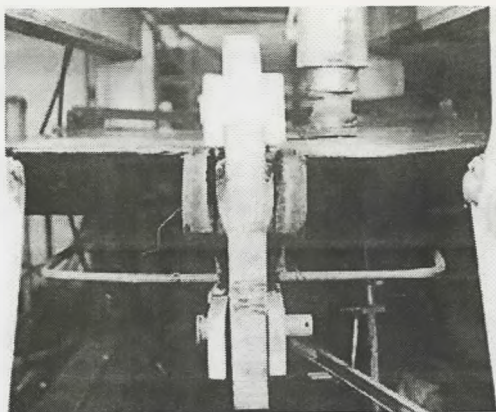
Rys. 2.35. Linia załomu w przypadku przyłożenia siły Q w punkcie o współrzędnych $x_Q = 0,7$ m; $y_Q = -0,2$ m (IV. wariant obciążenia) [46]



Rys. 2.36. Początkowa faza powstawania linii załomu (IV. wariant obciążenia) [46]



Rys. 2.37. Linia załomu osiągnęła brzeg osłony (IV. wariant obciążenia) [46]



Rys. 2.38. Widok osłony odzawałowej po zakończeniu badań [46]

**Zestawienie wyników badań laboratoryjnych
oraz obliczeń teoretycznych granicznego obciążenia osłony**

Tabela 2.5

Wariant obciążenia	Obciążenie graniczne uzyskane w badaniach		Obciążenie graniczne wyznaczone teoretycznie	Błąd teorii obliczeń δ [%]
	$Q_{gr.b.}$ [kN]	$Q_{gr.b.śr.}$ [kN]	$Q_{gr.t.}$ [kN]	
I	1400 1300	1350	1360	0,74
II	1150 1150 1300	1200	1270	5,83
III	1350	1350	1330	1,48
IV	1250 1250	1250	1220	2,4

W tabeli 2.5 zestawiono również procentowy błąd teorii obliczeń, wyznaczony z zależności:

$$\delta_b = \frac{|Q_{gr.t} - Q_{gr.b.śr}|}{Q_{gr.b.śr}} \quad (2.10)$$

gdzie:

- $Q_{gr.t}$ – obciążenie graniczne osłony wyznaczone teoretycznie,
- $Q_{gr.b.śr}$ – średnie obciążenie graniczne uzyskane w badaniach niszczących.

W pracy [46] stwierdzono, że z uwagi na wysoki koszt badań (koszty budowy stanowiska, przeprowadzonych badań oraz zniszczonych osłon odzawałowych) i niemożliwość uzyskania kolejnych egzemplarzy osłon do badań niszczących, uproszczona teoria nośności granicznej elementów płytowych sekcji obudowy zmechanizowanej została zweryfikowana jedynie w ograniczonym zakresie. Celem pełnej weryfikacji teoretycznego sposobu wyznaczania obciążenia granicznego osłony odzawałowej należałoby, między innymi, poddać badaniom znacznie większą liczbę egzemplarzy osłon, w których zostałyby wstępnie wyeliminowane błędy wykonawcze zidentyfikowane w trakcie omówionych badań (np.: wadliwe spoiny).

2.2. Weryfikacja metod wyznaczania obciążenia zewnętrznego sekcji

Do badań o charakterze poznawczym, prowadzonych przez Laboratorium Badań w ITG KOMAG należą również testy weryfikujące dokładność metod wyznaczania wartości parametrów charakteryzujących obciążenie zewnętrzne działające na sekcję obudowy zmechanizowanej rozpartą w wyrobisku ścianowym. Stanowisko do badań wytrzymałościowych sekcji obudowy zmechanizowanej stwarza bowiem warunki nie tylko do działania na obiekt badań siłą o określonej wartości i znanej prostej działania, lecz również do testowania cech funkcjonalnych aparatury pomiarowej, która będzie zastosowana w warunkach *in situ*.

2.2.1. Metoda wyznaczania wektora obciążenia zewnętrznego sekcji

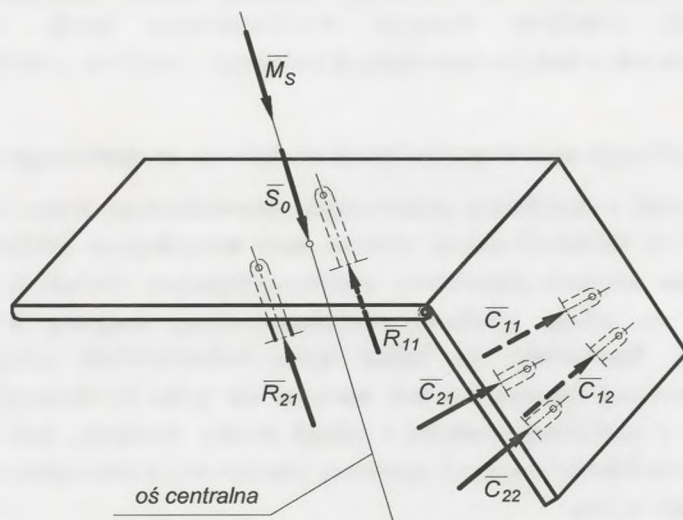
Analizując możliwość wyznaczania w warunkach *in situ* wektora wypadkowej obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej, w pracy [40] wyróżniono, między innymi:

- metodę wyznaczania zredukowanego obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa,
- uproszczoną metodę wyznaczania składowej pionowej obciążenia sekcji.

Wymienione metody różnią się stopniem uproszczenia modelu matematycznego sekcji, rozpatrywanego w pracy [40]. W zależności od stopnia uproszczenia modelu inna jest liczba wielkości mierzonych, a więc również stopień rozbudowania układu pomiarowego. Biorąc pod uwagę warunki w jakich wykonywane są pomiary (wyrobisko ścianowe w trakcie eksploatacji), sposób przesyłania i rejestracji wyników pomiarów oraz możliwości wyznaczenia parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji z określonym błędem

wyznaczania, należy stwierdzić, że liczba wielkości mierzonych stanowi istotny problem w ostatecznym wyborze metody wyznaczania obciążenia zewnętrznego sekcji.

W przypadku wyznaczania obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa (sekcji jednoszeregowej) przyjęto schemat statyczny przedstawiony na rysunku 2.39. Oddziaływanie górotworu na zespół stropnica – osłona ma postać przestrzennego dowolnego układu sił redukującego się do skrętnika.



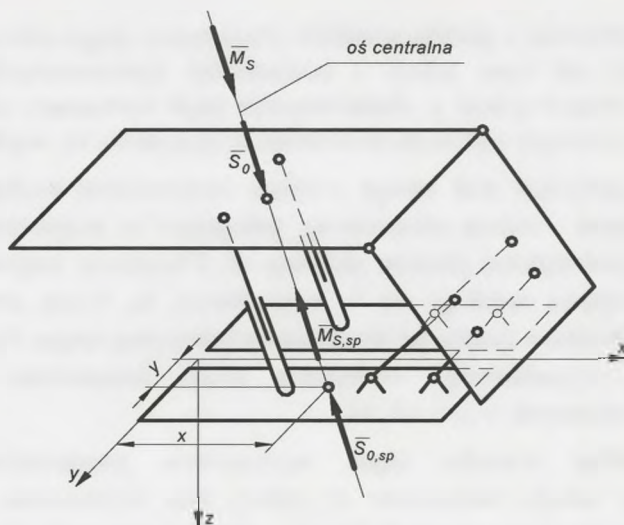
Rys. 2.39. Schemat statyczny zespołu stropnica – osłona odzawałowa [40]

Ponieważ spośród wektorów pokazanych na rysunku 2.39 jedyną wielkością niewiadomą jest wynik redukcji obciążenia zewnętrznego, to wektory sumy ogólnej $\bar{S}_0$ oraz momentu skrętnika $\bar{M}_S$ są jednoznacznymi funkcjami sił w stojakach hydraulicznych i łącznikach. Celem określenia zredukowanego obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa należy więc wyznaczyć:

- siły w stojakach hydraulicznych sekcji R_{ij} ; $i = 1, 2$,
- siły w łącznikach lemniskatowych C_{ik} ; $i, k = 1, 2$,
- wielkości geometryczne charakteryzujące sekcję obudowy.

Zredukowane obciążenie zespołu stropnica – osłona odzawałowa określają:

- współrzędne oraz wartość wektora sumy ogólnej S_0 ($S_{0,x}$; $S_{0,y}$; $S_{0,z}$),
- współrzędne oraz wartość wektora momentu skrętnika M_s ($M_{s,x}$; $M_{s,y}$; $M_{s,z}$),
- współrzędne x, y punktu przecięcia płaszczyzny spągu przez oś centralną (rys. 2.40).



Rys. 2.40. Parametry charakteryzujące zredukowane obciążenie zespołu stropnica – osłona odzawałowa [40]

Błędy wyznaczania wyżej wymienionych parametrów są zależne od: dokładności pomiaru sił w stojakach i łącznikach, wysokości sekcji oraz od jej postaci geometrycznej. Przyjmując dokładność pomiaru sił metodami dostępnymi w warunkach eksploatacji górniczej w [40] przeanalizowano przykładowo maksymalne wartości błędów wyznaczania zredukowanego obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa dla dwóch typów sekcji.

Zestawienie maksymalnych wartości błędów $\delta_{\max}$ wyznaczania parametrów charakteryzujących obciążenie zespołu stropnica – osłona odzawałowa dla przykładowych dwóch typów sekcji

Tabela 2.6

Parametr charakteryzujący obciążenie zespołu	S_{0z}	S_{0x}	S_0	M_s	x	y
Sekcja A-15/32-POz $\delta_{\max}$ [%]	8,7	41,8	7,5	10,2	11,8	64,3
Sekcja B-12/23-POz $\delta_{\max}$ [%]	6,0	31,6	5,2	5,5	5,4	243,2

Badanie wrażliwości modelu i analiza dokładności wyznaczania parametrów skrętnika upoważniają do stwierdzenia, że kryterium dopuszczalnego błędu całkowitego mniejszego od 20% spełnione jest w przypadku błędu wyznaczania wektora sumy ogólnej S_0 , momentu skrętnika

M_s oraz współrzędnej x punktu przebicia płaszczyzny spągu przez oś centralną. W zależności od typu sekcji i dokładności zastosowanych czujników, wyznaczenie współrzędnej y charakteryzuje błąd wynoszący nawet kilkaset procent, co w praktyce wyklucza możliwość wyznaczenia tej współrzędnej.

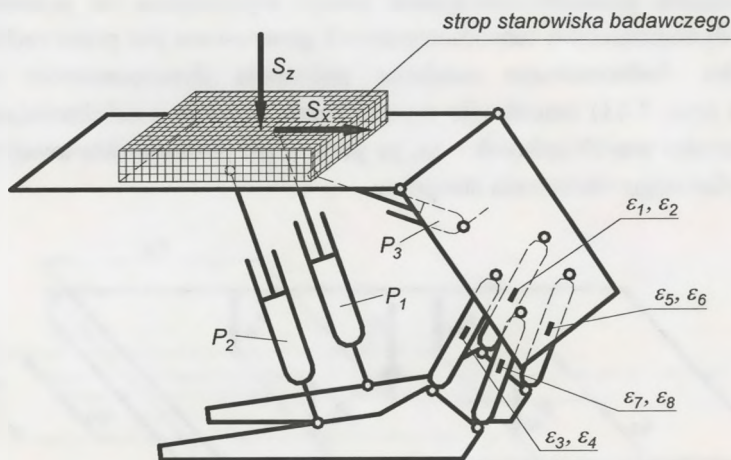
Biorąc powyższe pod uwagę przyjęto uproszczenie modelu obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa, polegające na rozpatrzeniu płaskiego modelu sekcji obciążonej płaskim układem sił. Obciążenie zespołu stropnica – osłona odzawałowa redukuje się do wypadkowej S_0 , której prostą działania określa współrzędna x punktu jej przebicia z płaszczyzną spągu. Opisaną metodę wyznaczania wypadkowego obciążenia sekcji zastosowano praktycznie w badaniach opisanych w [12, 13, 14].

Maksymalne wartości błędu wyznaczania parametrów obciążenia zewnętrznego sekcji, zestawione w tabeli 2.6, wyznaczono teoretycznie uwzględniając błąd zastosowanej metody pomiaru wielkości mierzonych oraz postać geometryczną sekcji. Celem doświadczalnej weryfikacji błędu metody wyznaczania obciążenia zewnętrznego sekcji przeprowadzono testy na stanowisku do badań wytrzymałościowych sekcji obudowy zmechanizowanej. Metodę przeprowadzonych badań omówiono w kolejnym podrozdziale.

2.2.2. Metoda doświadczalnego wyznaczania dokładności określania parametrów charakteryzujących obciążenia zewnętrzne sekcji obudowy zmechanizowanej

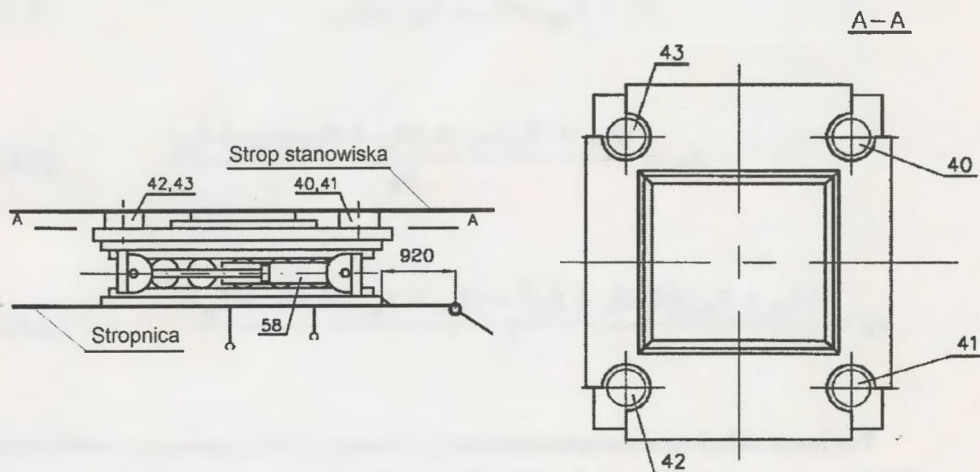
Wielkościami mierzonymi przy weryfikacji metody wyznaczania obciążenia zewnętrznego działającego na zespół stropnica – osłona odzawałowa (dla ustalonej wysokości sekcji) są (rys. 2.41):

- ciśnienia w stojakach – punkty pomiarowe – P_1 i P_2 ,
- odkształcenia jednostkowe łączników – $\varepsilon_1 \div \varepsilon_8$,
- składowa pionowa obciążenia zewnętrznego sekcji – S_z ,
- składowa pozioma obciążenia zewnętrznego sekcji – S_x .



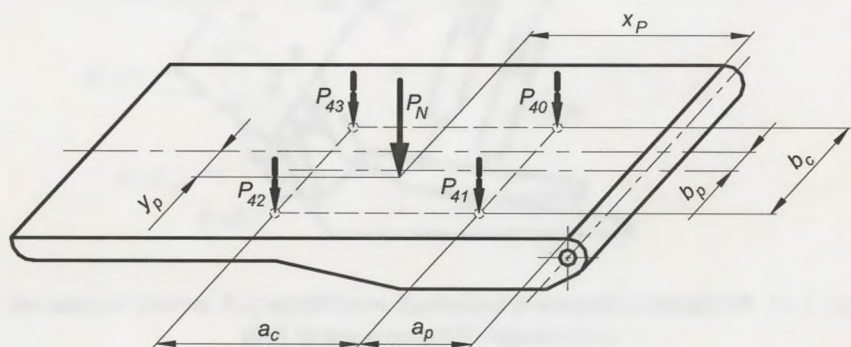
Rys. 2.41. Wielkości mierzone w badaniach weryfikujących metodę wyznaczania statycznego obciążenia sekcji [40]

Pomiar składowej pionowej oraz składowej poziomej obciążenia zewnętrznego sekcji wykonano za pomocą specjalnie zaprojektowanego urządzenia rolkowego przedstawionego schematycznie na rysunku 2.42.



Rys. 2.42. Schemat urządzenia rolkowego do pomiaru składowej pionowej i poziomej obciążenia stropnicy 40 ÷ 43 – dynamometry tensometryczne; 58 – siłownik hydrauliczny [35]

Składowa pionowa obciążenia sekcji wyznaczana za pomocą układu czterech dynamometrów tensometrycznych generowana jest przez ruchomy strop stanowiska. Jednoznaczne ustalenie położenia dynamometrów względem stropnicy (rys. 2.43) umożliwiło wyznaczenie, zgodnie z zależnościami (2.11 ÷ 2.13) wartości współrzędnych – x_P , y_P punktu przyłożenia składowej normalnej P_N wypadkowego obciążenia stropnicy.



Rys. 2.43. Schemat ustawienia dynamometrów tensometrycznych na stropnicy w trakcie badań [40]

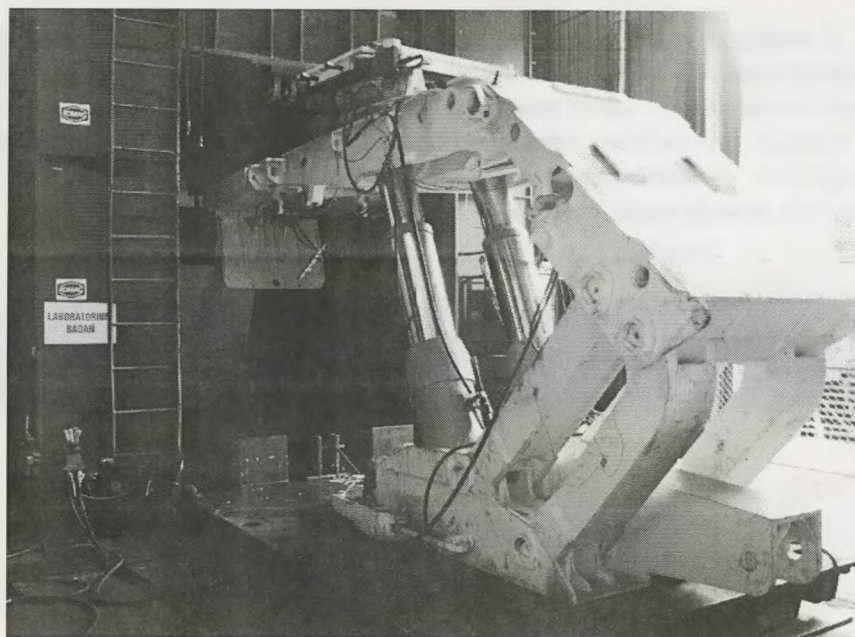
$$P_N = P_{40} + P_{41} + P_{42} + P_{43} \quad (2.11)$$

$$x_P = \frac{(P_{40} + P_{41})a_p + (P_{42} + P_{43})(a_c + a_p)}{P_N} \quad (2.12)$$

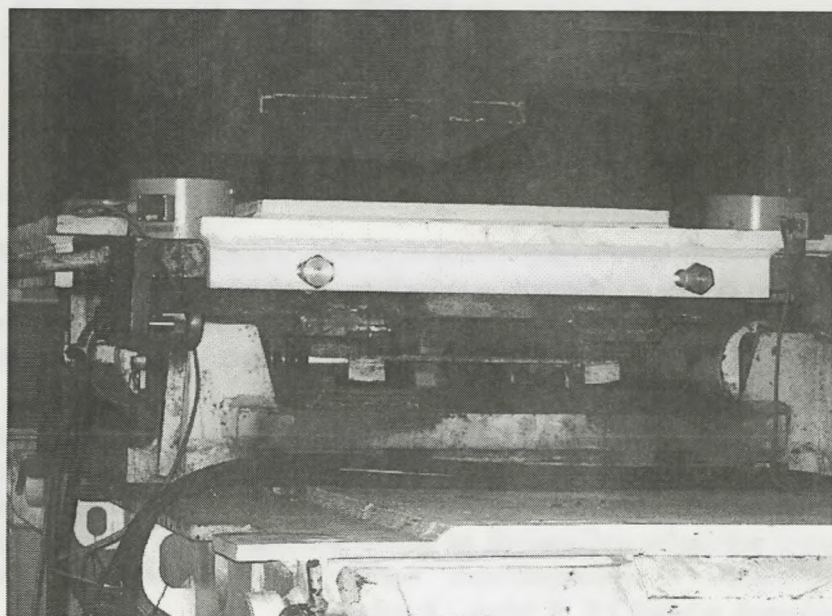
$$y_P = \frac{(P_{41} + P_{42})(0,5b_c + b_p) - (P_{40} + P_{43})(0,5b_c - b_p)}{P_N} \quad (2.13)$$

Pozioma składowa obciążenia sekcji wymuszana jest poprzez wywoływanie ciśnienia w przestrzeni podtłokowej siłownika hydraulicznego (58) w urządzeniu rolkowym (rys. 2.42).

Widok stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2.44, a urządzenie rolkowe na rysunku 2.45.



Rys. 2.44. Stanowisko do badań sekcji obudowy zmechanizowanej [1]



Rys. 2.45. Urządzenie realizujące składową poziomą obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej – urządzenie rolkowe [1]

Z analizy czynników wpływających na dokładność wyznaczania parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji wynika, że doświadczalną weryfikację rozpatrywanej metody należy przeprowadzić dla dwóch wysokości pracy sekcji oraz dla różnych przypadków działania obciążenia zewnętrznego. Program badań, szczegółowo przedstawiony w [35, 40] przewidywał realizację 8. rodzajów obciążenia zewnętrznego, przedstawionych schematycznie w tabeli 2.7.

Program badań – realizowane rodzaje obciążenia sekcji

Tabela 2.7

Rodzaj obciążenia	Sposób obciążenia	Schemat podparcia stropnic obudowy	Wysokość rozparcia zestawu [m]	Obciążenie P/P_n
STATYCZNE	SYMETRYCZNE Położenie układu rolkowego		2,6	0,7
			1,4	
			2,6	0,7
			1,4	
	ASYMETRYCZNE Położenie układu rolkowego		2,6	0,7
			1,4	
			2,6	0,7
			1,4	

Wielkość obciążenia sekcji charakteryzowała wartość przeciążenia – ilorazu zadawanego ciśnienia i ciśnienia nominalnego w stojakach, podporze stropnicy oraz siłownikach urządzenia rolkowego. W przypadku każdego rodzaju obciążenia wykonano 6 cykli statycznego obciążania sekcji o przeciążeniu zmieniającym się od 0,4 do 0,7.

Przykładowe wyniki pomiarów sił wewnętrznych w sekcji przedstawiono w tabeli 2.8, natomiast w tabeli 2.9 porównano wartości wielkości charakteryzujących wektor obciążenia zewnętrznego sekcji wyznaczone na podstawie pomiarów wykonanych na stanowisku oraz wyniki obliczeń wartości tych wielkości z wykorzystaniem wartości sił wewnętrznych w sekcji zestawionych w tabeli 2.8. W tabeli 2.8 zestawiono:

- R_{11} , R_{21} – wartości sił w stojakach,
- R_3 – wartość siły w podporze stropnicy,
- C_{11} , C_{21} , C_{12} , C_{22} – wartości sił w łącznikach lemniskatowych.

Zestawienie wyników pomiarów sił wewnętrznych dla przykładowego cyklu obciążenia sekcji (wysokość sekcji 2,6 m, asymetryczne obciążenie składową pionową i poziomą)

Tabela 2.8

p/p _r	Wyniki pomiarów sił wewnętrznych						
	R ₁₁	R ₂₁	R ₃	C ₁₁	C ₁₂	C ₂₁	C ₂₂
	[kN]						
0,4	1214,0	1206,1	163,9	-1635,2	1361,8	-1612,8	1392,8
0,5	1592,4	1592,4	203,9	-1926,4	1609,4	-1926,4	1671,3
0,6	1931,3	1931,3	255,8	-2217,6	1857,0	-2262,4	1949,9
0,7	2223,0	2225,6	303,7	-2434,1	2032,4	-2516,3	2197,5

Tabela 2.9 zawiera wartości następujących parametrów charakteryzujących obciążenie zewnętrzne sekcji wyznaczone doświadczalnie:

- P_N – wartość składowej normalnej obciążenia stropnicy,
- P_T – wartość składowej stycznej obciążenia stropnicy,
- x_P , y_P – współrzędne punktu przebicia płaszczyzny spągu przez oś centralną

oraz parametry obciążenia zewnętrznego obliczone z wykorzystaniem wyznaczonych wartości sił wewnętrznych w sekcji:

- S_{0z} – wartość składowej pionowej wypadkowego obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa,
- S_{0x} – wartość składowej poziomej wypadkowego obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa,
- x_o , y_o – współrzędne punktu przebicia płaszczyzny spągu przez prostą działania wypadkowego obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa.

Parametry obciążenia zewnętrznego sekcji – wyznaczone doświadczalnie i obliczone z wykorzystaniem sił zestawionych w tabeli 2.8 (wysokość sekcji 2,6 m, asymetryczne obciążenie składową pionową i poziomą)

Tabela 2.9

p/p _r	Wyniki pomiarów obciążenia zewnętrznego				Wyniki obliczeń obciążenia zewnętrznego			
	P_N	P_T	x_P	y_P	S_{0z}	S_{0x}	x_o	y_o
	[kN]		[mm]		[kN]		[mm]	
0,4	2374,0	317,1	1533	-19	2196	126,6	591,8	-3,9
0,5	3060,7	450,0	1585	-23	2885	277,4	669,6	-3,0
0,6	3600,3	570,9	1613	-22	3508	378,8	702,9	-2,3
0,7	4028,6	713,8	1643	-12	4024	500,6	722,9	-3,3

Dokonując weryfikacji metody wyznaczania parametrów charakteryzujących oddziaływanie górotworu na zespół stropnica – osłona odzawałowa należy uwzględnić, zarówno dokładność pomiaru wielkości fizycznych niezbędnych do obliczenia parametrów charakteryzujących obciążenie zewnętrzne zespołu stropnica – osłona metodą opisaną w rozdziale 2.2.1, jak również dokładność wyznaczenia wielkości niezbędnych do obliczenia składowych wektora obciążenia zewnętrznego stropnicy i współrzędnych punktu jego przyłożenia do powierzchni stropnicy za pomocą zależności (2.11) ÷ (2.13).

Wyznaczanie składowych wektora wypadkowej siły zewnętrznej działającej na sekcję rozpartą w stanowisku badawczym wymaga pomiaru sił w siłownikach urządzenia realizującego składową pionową i poziomą obciążenia zewnętrznego oraz wymiarów geometrycznych określających położenie urządzenia realizującego obciążenie zewnętrzne i wysokość sekcji.

Błąd bezwzględny wyznaczania składowej poziomej obciążenia zewnętrznego, wyznaczony metodą różniczki zupełnej, na podstawie znanych błędów wyznaczania wielkości mierzonych, wynosi $\Delta S_{0x,pom} = 30 \text{ kN}$.

Siła w każdym z czterech dynamometrów mierzących pionową składową oddziaływania stropu stanowiska na stropnicę sekcji była wyznaczana z dokładnością do 10 kN. W związku z tym błąd bezwzględny wyznaczania składowej pionowej wektora głównego wynosi $\Delta S_{0z,pom} = 40 \text{ kN}$.

Położenie urządzenia rolkowego do realizacji składowej pionowej i poziomej obciążenia zewnętrznego sekcji wyznaczano z dokładnością do 1 mm. Ponieważ w trakcie realizacji cyklu obciążenia położenie urządzenia rolkowego nie ulegało zmianie, to korzystając z równań (2.12) i (2.13) określono metodą różniczki zupełnej błędy wyznaczania współrzędnych x_p i y_p punktu przebiecia prostej działania obciążenia zewnętrznego sekcji i spągu. W zależnościach (2.14) i (2.15) uwzględniono tylko błędy pomiaru sił wyznaczanych podczas pomiaru obciążenia zewnętrznego:

$$\Delta x_{pom} = \frac{2a_p + a_c}{(S_T + S_P)^2} (\Delta S_P S_T + \Delta S_T S_P) + h \left(\frac{\Delta S_{0x}}{S_{0z}^2} + \frac{S_{0x} \cdot \Delta S_{0z}}{S_{0z}^3} \right) \quad (2.14)$$

$$\Delta y_{pom} = \frac{b_c}{(S_L + S_P)^2} (\Delta S_L S_P + \Delta S_P S_L) \quad (2.15)$$

gdzie:

- Δx_{pom} – błąd bezwzględny wyznaczania współrzędnej x_p punktu przyłożenia wektora głównego do stropnicy,
- Δy_{pom} – błąd bezwzględny wyznaczania współrzędnej y_p punktu przyłożenia wektora głównego do stropnicy,

- S_F – suma sił przenoszonych przez dynamometry przednie,
 S_T – suma sił przenoszonych przez dynamometry tylne,
 S_L – suma sił przenoszonych przez dynamometry lewe,
 S_P – suma sił przenoszonych przez dynamometry prawe,
 ΔS_F – dokładność pomiaru siły przenoszonej przez dynamometry przednie,
 ΔS_T – dokładność pomiaru siły przenoszonej przez dynamometry tylne,
 ΔS_L – dokładność pomiaru siły przenoszonej przez dynamometry lewe,
 ΔS_P – dokładność pomiaru siły przenoszonej przez dynamometry prawe,
 h – wysokość sekcji.

Znaczenie pozostałych symboli objaśniono na rysunku 2.43. W rozpatrywanym przypadku:

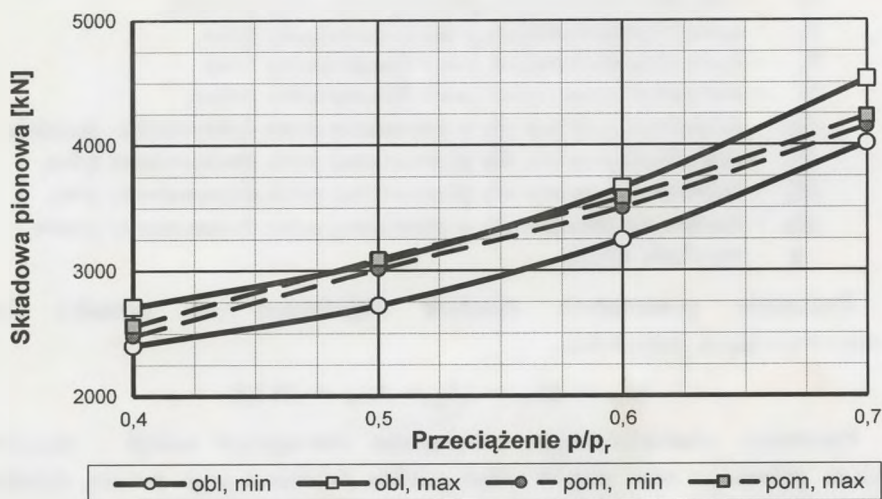
$$\Delta S_F = \Delta S_T = \Delta S_L = \Delta S_P = 20 \text{ kN}$$

Parametry charakteryzujące obciążenie zewnętrzne sekcji – składowe wektora głównego oraz współrzędne punktu przebiecia jego prostej działania z płaszczyzną spągu – obliczono również korzystając z wyników pomiarów sił w łącznikach i sił w stojakach sekcji. W przypadku badanej sekcji obudowy FAZOS-10/28-POz/BSN i dokładności zastosowanych przyrządów pomiarowych uzyskano następujące względne procentowe błędy obliczania tych parametrów:

- procentowy błąd wyznaczania wartości składowej poziomej obciążenia zewnętrznego – $\delta S_{0x,o} = 31,6\%$
- procentowy błąd wyznaczania wartości składowej pionowej obciążenia zewnętrznego – $\delta S_{0z,o} = 6,0\%$
- procentowy błąd wyznaczania wartości współrzędnej x – $\delta x_o = 5,4\%$
- procentowy błąd wyznaczania wartości współrzędnej y – $\delta y_o = 234,0\%$

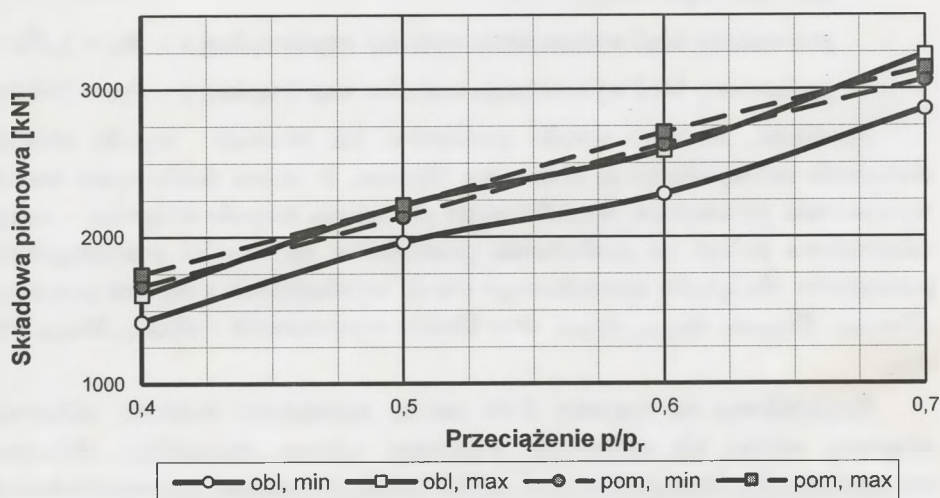
Ponieważ, zarówno wyniki pomiarów, jak również wyniki obliczeń obciążenia zewnętrznego są obarczone błędami, to ocena dokładności metody wyznaczania parametrów wypadkowego obciążenia zespołu stropnica – osłona odzawałowa polega na porównaniu przedziałów zmienności poszczególnych parametrów obciążenia zewnętrznego sekcji, wynikających z błędów pomiaru – $\Delta S_{0x,pom}$, $\Delta S_{0z,pom}$, Δx_{pom} , Δy_{pom} , oraz błędów wyznaczania – $\Delta S_{0x,o}$, $\Delta S_{0z,o}$, Δx_o , Δy_o

Przykładowo na rysunku 2.46 zakres zmienności wartości składowej pionowej mieści się całkowicie wewnątrz zakresu zmienności obliczonej wartości tej siły. Oznacza to, że w całym badanym zakresie przeciążeń metoda wyznaczania siły S_{0z} została zweryfikowana pozytywnie.



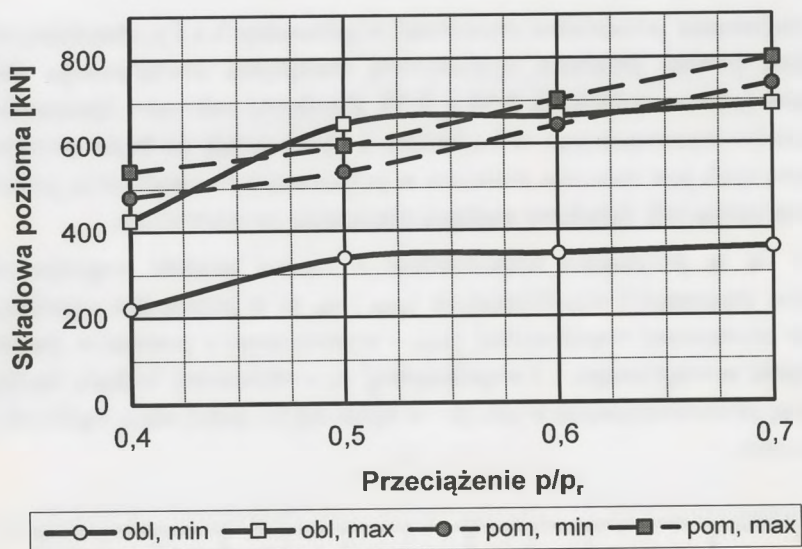
Rys. 2.46. Porównanie przedziałów zmienności składowej pionowej obciążenia zewnętrznego sekcji w przypadku wysokości sekcji 2,6 m i symetrycznego ustawienia urządzenia rodkowego [40]

Podobny wniosek, odnośnie do weryfikacji metody wyznaczania można sformułować na podstawie wykresów przedziałów zmienności sił $S_{0z,pom}$ i $S_{0z,o}$ wyznaczonych przy asymetrycznym ustawieniu urządzenia rodkowego (rys. 2.47).

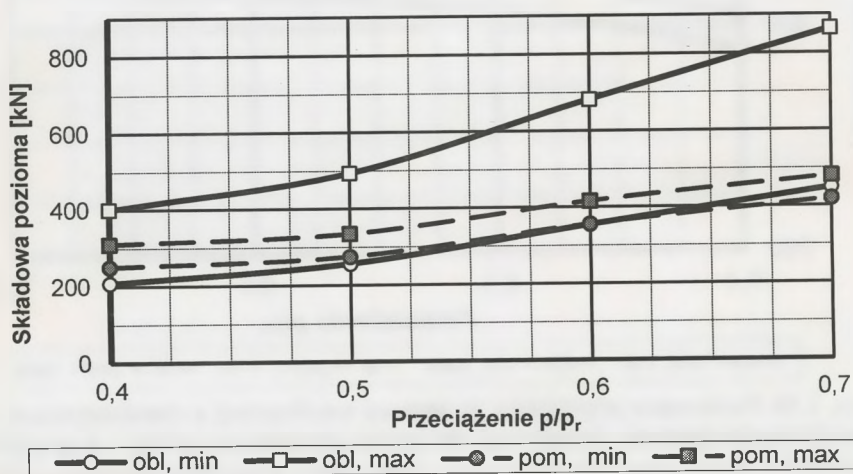


Rys. 2.47. Porównanie przedziałów zmienności składowej pionowej obciążenia zewnętrznego sekcji w przypadku wysokości sekcji 1,4 m i asymetrycznego ustawienia urządzenia rodkowego [40]

Weryfikację metody wyznaczania składowej poziomej obciążenia zewnętrznego sekcji przedstawiono na rysunkach 2.48 i 2.49.



Rys. 2.48. Porównanie przedziałów zmienności składowej poziomej obciążenia zewnętrznego sekcji w przypadku wysokości sekcji 2,6 m i symetrycznego ustawienia urządzenia rolkowego [40]

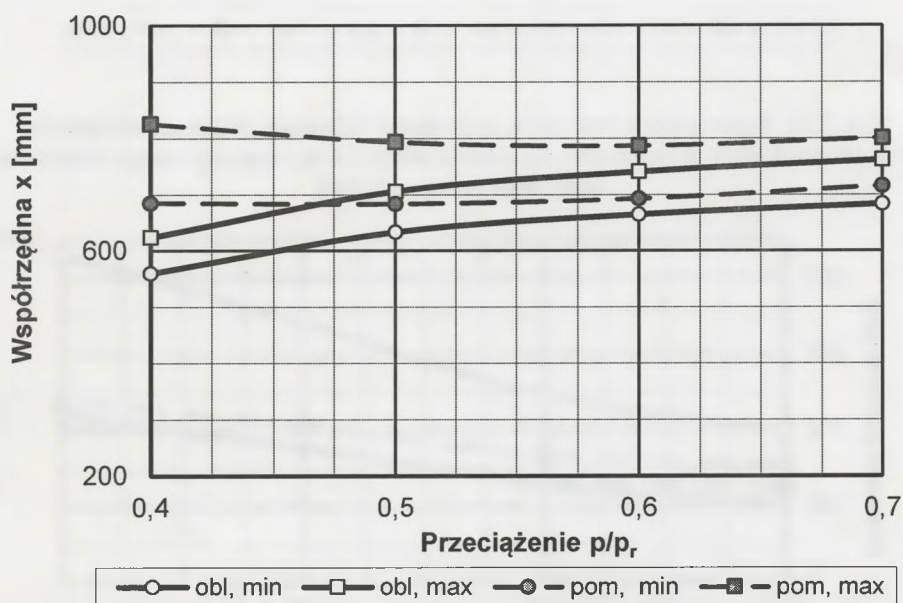


Rys. 2.49. Porównanie przedziałów zmienności składowej poziomej obciążenia zewnętrznego sekcji w przypadku wysokości sekcji 1,4 m i symetrycznego ustawienia urządzenia rolkowego [40]

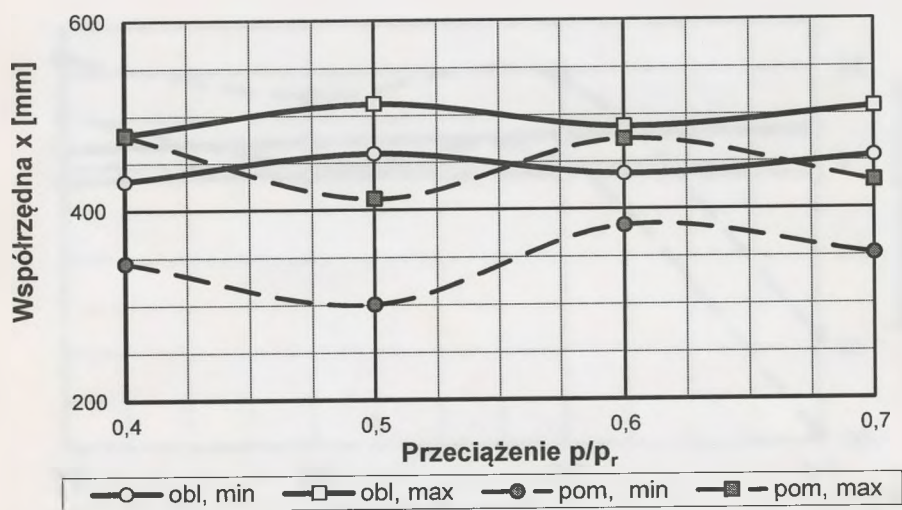
W przypadku składowej S_{0x} obciążenia zewnętrznego wielkość obszaru wspólnego zakresów zmienności siły $S_{0x,pom}$ i $S_{0x,o}$ maleje ze wzrostem wysokości sekcji.

Porównanie przedziałów zmienności współrzędnych x i y , charakteryzujących położenie prostej działania wypadkowej obciążenia zewnętrznego stropnicy przedstawiono na rysunkach 2.50 ÷ 2.53. Zgodność zakresów zmienności tych parametrów wyznaczonych w badaniach i obliczonych na bazie pomiarów sił wewnętrznych jest znacznie mniejsza w porównaniu ze zgodnością parametrów charakteryzujących składowe wektora obciążenia zewnętrznego.

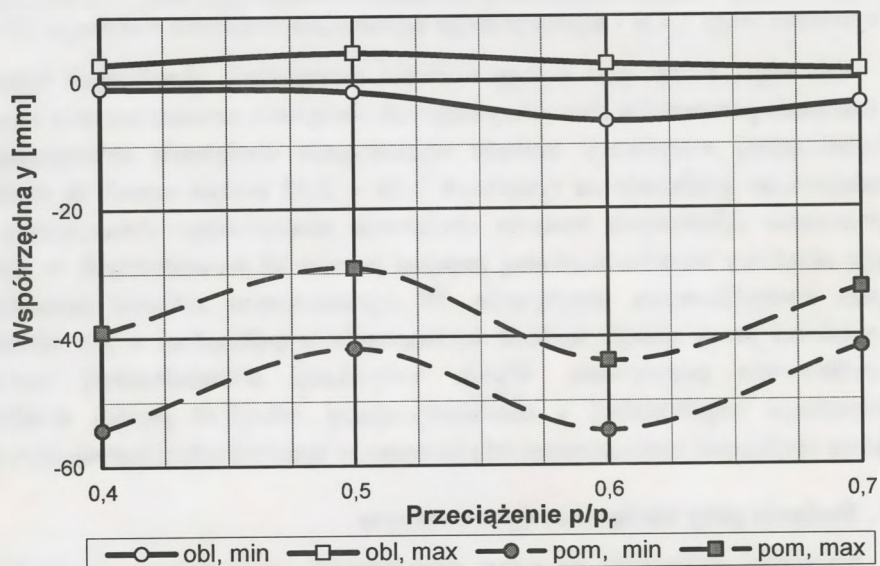
O ile w przypadku współrzędnej x można znaleźć wspólne obszary zakresów zmienności współrzędnych x_{pom} i x_o , to w przypadku współrzędnej y zakresy zmienności współrzędnej y_{pom} – wyznaczonej z pomiarów parametrów obciążenia zewnętrznego – i współrzędnej y_o – obliczonej metodą bazującą na pomiarze sił wewnętrznych w sekcji – w ogóle się nie pokrywają, bądź pokrywają nieznacznie.



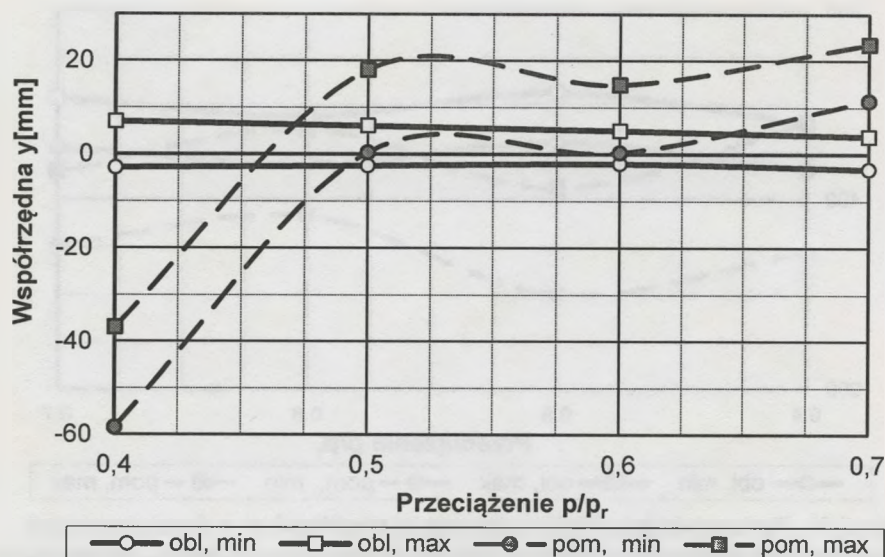
Rys. 2.50. Porównanie przedziałów zmienności współrzędnej x charakteryzującej położenie prostej działania wypadkowej obciążenia zewnętrznego sekcji – w przypadku wysokości sekcji 2,6 m i asymetrycznego usytuowania urządzenia rolkowego [40]



Rys. 2.51. Porównanie przedziałów zmienności współrzędnej x charakteryzującej położenie prostej działania wypadkowej obciążenia zewnętrznego sekcji – w przypadku wysokości sekcji 1,4 m i asymetrycznego usytuowania urządzenia rolkowego [40]



Rys. 2.52. Porównanie przedziałów zmienności współrzędnej y charakteryzującej położenie prostej działania wypadkowej obciążenia zewnętrznego sekcji – w przypadku wysokości sekcji 2,6 m i symetrycznego usytuowania urządzenia rolkowego [40]



Rys. 2.53. Porównanie przedziałów zmienności współrzędnej y charakteryzującej położenie prostej działania wypadkowej obciążenia zewnętrznego sekcji – w przypadku wysokości sekcji 1,4 m i asymetrycznego usytuowania urządzenia rolkowego [40]

Tak więc, biorąc pod uwagę wartości teoretycznie określonych błędów wyznaczania parametrów charakteryzujących obciążenie zewnętrzne oraz wyniki doświadczalnej weryfikacji metody wyznaczania obciążenia zewnętrznego, przedstawione graficznie na rysunkach 2.46 ÷ 2.53 można uznać, że metoda wyznaczania składowych wektora obciążenia zewnętrznego działającego na sekcję obudowy zmechanizowanej poprzez pomiar sił wewnętrznych w sekcji została zweryfikowana pozytywnie. W ograniczonym zakresie przeciążeń i wysokości pracy sekcji, metoda wyznaczania współrzędnej x jest również zweryfikowana pozytywnie. Wynik weryfikacji doświadczalnej metody wyznaczania współrzędnej y charakteryzującej odległość prostej działania wektora obciążenia zewnętrznego od płaszczyzny symetrii sekcji jest negatywny.

2.3. Badania przy obciążeniu dynamicznym

Najwięcej informacji na temat przydatności sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej do pracy w warunkach wstrząsów górotworu dostarczają badania stanowiskowe przy obciążeniu dynamicznym. Metody badań sekcji przy obciążeniu dynamicznym stosowane w XX wieku w różnych europejskich ośrodkach badawczych omówiono w rozdziale 4.

Obecnie stosowane są dwie metody symulacji obciążeń dynamicznych występujących podczas wstrząsów górotworu, mianowicie:

- metoda kafarowa, w której do wywoływania obciążenia dynamicznego zastosowano kafar, ze swobodnie spadającą masą,
- metoda wybuchowa, w której do generacji obciążenia dynamicznego wykorzystuje się energię pochodzącą ze spalania materiału wybuchowego, typu miotającego.

Przedmiotem większości dotychczas zrealizowanych badań przy obciążeniu dynamicznym były stojaki hydrauliczne. Badania kompletnej sekcji należą do rzadkości. W rozdziale 2.3.1 omówiono badania kompletnej sekcji przeprowadzone w ITG KOMAG przy obciążeniu dynamicznym generowanym metodą wybuchową.

2.3.1. Badania sekcji przy obciążeniu dynamicznym

Badania sekcji obudowy przy obciążeniu dynamicznym miały charakter poznawczy. Ich celem było sprawdzenie założonej metody pomiaru energii pochłanianej przez sekcję obudowy oraz ocena stanowiska badawczego z zastosowanym generatorem obciążeń dynamicznych.

Metodykę przeprowadzonych badań stanowiskowych sekcji przy obciążeniu dynamicznym przedstawiono na przykładzie badań sekcji obudowy zmechanizowanej typu PIOMA-18/37-Oz, pokazanej schematycznie na rysunku 2.55. Podstawowe parametry sekcji zestawiono w tabeli 2.10 [48].

Charakterystyka sekcji obudowy PIOMA-18/37-Oz

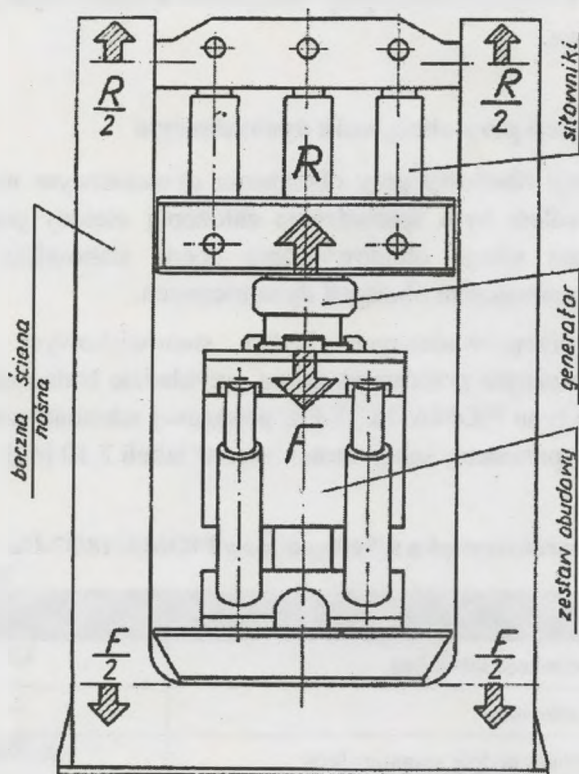
Tabela 2.10

Parametr	Wartość
Maksymalna wysokość sekcji [m]	3,7
Liczba podpór stropnicy	2
Podporność robocza podpór stropnicy [kN]	2x2060
Liczba podpór osłony	2
Podporność podpór osłony [kN]	2x844

Badania przeprowadzono w stanowisku do badań wytrzymałości sekcji obudowy zmechanizowanej z zastosowaniem generatora obciążenia dynamicznego (rys. 2.54).

Siła dynamiczna obciążająca sekcję obudowy generowana jest poprzez spalanie materiału wybuchowego wewnątrz generatora.

Reakcja siły dynamicznej wywołuje chwilowe naprężenie wewnętrzne w ramowej konstrukcji stanowiska i nie przenosi się na otaczające środowisko. Schemat przenoszenia obciążenia dynamicznego na konstrukcję ramową stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2.54. Słupy nośne stanowiska stanowią spawaną dwuścianową konstrukcję płytową, a sztywny strop, podwieszony za pomocą siłowników hydraulicznych do czterech trawers ryglowanych w ścianach bocznych, zapewnia równomierny rozkład obciążenia na całej szerokości bocznej konstrukcji płytowej.



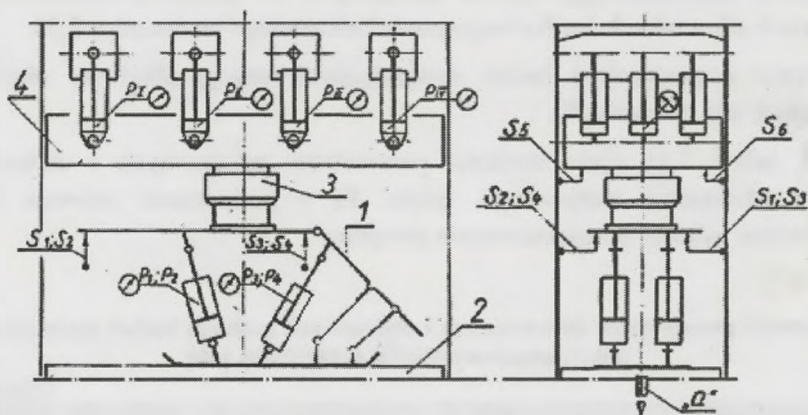
Rys. 2.54. Obciążenie stanowiska siłą wybuchu w generatorze [48]

Energię pochłanianą przez sekcję obudowy określa wzór [48]:

$$E = \frac{F \cdot S}{2} \quad (2.16)$$

gdzie: F – siła dynamiczna wywołana spalaniem materiału wybuchowego,
 S – towarzyszące tej sile przemieszczenie stropnicy sekcji.

Określenie wielkości pochłanianej energii podczas obciążenia dynamicznego sekcji obudowy wymaga pomiaru siły dynamicznej oraz przemieszczenia stropnicy sekcji. Sposób pomiaru energii pochłanianej przez sekcję obudowy zmechanizowanej obrazuje rysunku 2.55.



Rys. 2.55. Rozmieszczenie czujników pomiarowych [48]

Sekcja obudowy 1 ustawiona na spągu stanowiska 2 posiada przyspawany do stropnicy generator obciążenia dynamicznego 3. Strop stanowiska badawczego 4 obciąża sekcję obudowy 1 siłą statyczną o wartości równej podporności wstępnej sekcji.

Do stropnicy sekcji obudowy w czterech punktach są zamocowane czujniki przemieszczeń S_1 , S_2 , S_3 i S_4 mierzące jej przemieszczenie podczas obciążenia dynamicznego.

Wielkość ugięcia sekcji obudowy stanowi średnią arytmetyczną wartości zmierzonych przemieszczeń.

$$S_{\text{sr}} = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}{4} \quad (2.17)$$

Spalenie materiału wybuchowego wewnątrz generatora powoduje wzrost ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych 12 siłowników stropu. Do przestrzeni podtłokowych są podłączone czujniki ciśnienia dokonujące pomiaru ciśnienia podczas obciążenia dynamicznego. Ciśnienie to wyznacza wielkość reakcji R wywieranej przez tłok generatora na strop stanowiska badawczego 4 [48].

$$R = F = \sum_{i=1}^{i=12} P_i \cdot B_i \quad (2.18)$$

gdzie: P_i – ciśnienie zarejestrowane w poszczególnych siłownikach stropu
 B_i – powierzchnia tłoka siłowników stropu [48].

W wypadku symetrycznego ustawienia sekcji wraz z generatorem w osi stanowiska badawczego oraz wyrównania ciśnienia we wszystkich siłownikach stropu przy obciążeniu sekcji wstępną siłą statyczną, pomiar ciśnienia podczas obciążenia dynamicznego można ograniczyć do pomiaru ciśnienia tylko w czterech siłownikach środkowego rzędu pokazanego na rysunku 2.55.

Przed rozpoczęciem badań dynamicznych sekcję obudowy obciążono narastającą siłą statyczną F_c .

W tabeli 2.11 ujęto wartości parametrów zmierzonych i obliczonych podczas obciążenia statycznego, gdzie: F_n – podporność robocza sekcji, S_{sr} – średnia wartość przemieszczenia stropnicy.

Wartości parametrów zmierzonych i obliczonych podczas badań statycznych sekcji obudowy PIOMA-18/37-Oz [48]

Tabela 2.11

Parametr	Współczynnik przeciążenia F_c / F_n										
	0,47	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,55
Wartości zmierzone											
P_1 [MPa]	20	25	32	37	40	44	48	53	56	59	60
P_2 [MPa]	20	25	32	37	40	44	48	53	56	59	60
P_3 [MPa]	20	26	33	37	40	44	49	53	56	59	60
P_4 [MPa]	20	25	32	37	40	44	48	53	56	59	60
p_I [MPa]	3,2	4,2	6,0	6,8	7,2	8,4	9,4	10,4	11,2	12,6	12,2
p_{II} [MPa]	3,8	5,2	6,8	7,6	8,4	9,6	10,4	11,4	12,2	12,2	13,0
p_{III} [MPa]	3,4	4,5	6,0	7,0	7,6	8,4	9,4	10,2	11,0	11,4	11,4
p_{IV} [MPa]	3,2	4,4	5,8	6,8	7,6	8,0	9,2	10,0	10,8	11,4	11,2
S_1 [mm]	0	4,0	9,7	13,0	15,4	18,5	20,2	23,7	25,7	27,2	27,5
S_2 [mm]	0	4,0	9,0	12,5	15,7	19,0	20,5	23,0	26,0	25,5	25,2
S_3 [mm]	0	4,0	10,5	13,0	14,7	17,2	20,7	24,0	26,2	25,5	27,7
S_4 [mm]	0	4,2	10,7	13,7	16,0	18,5	22,5	26,5	29,2	-	31,2
Wartości obliczone											
F_c [MN]	2,0	2,7	3,6	4,2	4,6	5,1	5,7	6,2	6,7	7,0	7,0
S_{sr} [mm]	0	4,1	10,0	13,1	15,4	18,3	21,0	24,3	26,8	26,2	27,9

Z tabeli 2.11 wynika, że wartości ciśnienia w czterech podporach sekcji p_1 , p_2 , p_3 i p_4 podczas każdego obciążenia są takie same, co świadczy o starannym wyznaczeniu osi podparcia sekcji. Również wartości ciśnienia w siłownikach stropu stanowiska p_I , p_{II} , p_{III} i p_{IV} oraz przemieszczenia stropnicy sekcji nie wykazują dużych odchyłeń.

Badanie sekcji obudowy przy obciążeniu dynamicznym prowadzono również przy narastającym obciążeniu. Przed każdym obciążeniem dynamicznym sekcję obciążono siłą statyczną. Wartości pomiarowe uzyskane przy obciążeniu dynamicznym oraz wartości obliczone zamieszczono w tabeli 2.12.

Wartości parametrów zmierzonych i obliczonych podczas badań dynamicznych sekcji obudowy PIOMA-18/37-Oz [48]

Tabela 2.12

Parametr	Nr próby								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Wartości zmierzone									
P_1 [MPa]	-	37	44	50	52	60	50	62	50
P_2 [MPa]	28	36	43	48	52	60	52	63	48
P_3 [MPa]	32	40	52	58	62	68	60	76	54
P_4 [MPa]	32	40	50	58	62	68	53	64	56
p_I [MPa]	7,8	8,4	9,2	12,4	16,4	12,8	9,6	12,6	14,0
p_{II} [MPa]	6,4	8,4	9,2	11,8	8,0	12,	5,2	9,6	10,8
p_{III} [MPa]	6,4	8,0	9,8	11,6	11,4	12,0	8,8	11,6	9,2
p_{IV} [MPa]	5,6	6,8	8,4	11,6	9,2	10,6	9,2	11,2	9,6
S_1 [mm]	6,0	10,5	14,5	17,7	23,5	25,7	17,0	24,7	18
S_2 [mm]	6,7	11,0	15,2	18,5	23,5	25,7	17,0	24,5	18
S_3 [mm]	8,5	13,0	18,7	21,5	27,5	30,7	25,3	32,5	25,5
S_4 [mm]	8,2	13,5	17,5	19,7	27,3	30,0	25,0	31,0	26,8
t_n [ms]	12,5	12,5	12,5	12,5	13,5	15	15	15	15
Wartości obliczone									
F [MN]	3,9	4,1	5,4	6,9	6,6	7,0	4,8	6,6	6,9
S_{sr} [mm]	7,3	12,0	16,5	19,3	25,4	28,0	21,1	28,2	22,1
E [kJ]	23,7	36	67,6	89,7	110,5	128,8	66,5	117,0	105

W ostatniej próbie zastosowany ładunek materiału wybuchowego przewidywał wywołanie siły dynamicznej o wartości 8 MN. Nie uzyskano jednak założonego przyrostu siły, gdyż sekcja straciła stateczność, co uniemożliwiło dalsze zwiększanie wartości siły dynamicznej.

Analizując wartości przemieszczeń przedstawione w tabeli 2.12 stwierdzono, że we wszystkich próbach dynamicznego obciążenia większe przemieszczenia wystąpiły w tylnej części stropnicy, co tłumaczy pojawienie się wyższego ciśnienia w podporach osłony. W tabeli 2.11, opracowanej dla statycznego obciążenia sekcji, wartości ciśnienia we wszystkich stojakach nie wykazują różnic, a przemieszczenia czterech punktów stropnicy są praktycznie równe.

W dolnej części tabeli 2.12 zamieszczono wartości parametrów charakteryzujących obciążenie dynamiczne przejęte przez sekcję. Zostały one wyznaczone na podstawie wykonanych pomiarów.

Wartość siły obciążającej sekcję obudowy wyliczono wychodząc z założenia, że siła F jest równa reakcji przejmowanej przez siłowniki stropu, jak obrazuje to rysunek 2.54. [48].

$$F=3(p_I + p_{II} + p_{III} + p_{IV}) \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.19)$$

gdzie: p_I do p_{IV} – ciśnienie w siłownikach stropu,
 d – średnica wewnętrzna siłowników stropu.

Wartość przemieszczenia stropu S_{sr} stanowi średnią arytmetyczną zarejestrowanych przemieszczeń czterech punktów stropnicy. Korzystając z wyżej omówionych parametrów wyznaczono energię pochłoniętą przez sekcję obudowy w poszczególnych próbach. Podczas próby 11 uzyskano maksymalną wartość energii E pochłoniętej przez badaną sekcję wynoszącą 128,8 kJ.

W trakcie badań sekcji obudowy zmechanizowanej rejestrowano również parametry charakteryzujące oddziaływanie stanowiska na otaczające je środowisko. Między innymi, u podstawy stanowiska badawczego w odległości około 50 mm od jego płyty fundamentowej, w płaszczyźnie symetrii stanowiska, pokrywającej się z prosta działania obciążenia dynamicznego, zainstalowano czujnik przyspieszenia. Rejestrowano również drgania muru odległego o około 2 m od stalowej struktury stanowiska. W wyniku wykonanych pomiarów stwierdzono, że [48]:

- maksymalne przyspieszenia stopy stanowiska, wynosi 18 mm/s²,
- maksymalna amplituda drgań stopy stanowiska, wynosi 0,8 mm,
- maksymalna prędkość drgań muru, wynosi 17,2 mm/s (dopuszczalna prędkość drgań – 50 mm/s).

Zarejestrowane parametry świadczą więc o znikomym oddziaływaniu obciążenia dynamicznego wywoływanego za pomocą materiałów wybuchowych na otaczające środowisko.

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono możliwość wyznaczania energii przejmowanej przez sekcję obudowy zmechanizowanej podczas obciążenia dynamicznego. W trakcie prób uzyskano za pomocą generatora obciążenia dynamicznego energię, wynoszącą $1,27 \cdot 10^5$ J. Energia ta jest porównywalna z energią słabych wstrząsów górotworu występujących w trakcie eksploatacji ścianowej [48].

Wykonane badania umożliwiły zebranie doświadczeń odnośnie do procedury pomiarów i występujących zagrożeń związanych z utratą stateczności sekcji. Przedstawiona metoda badań może być wykorzystana w badaniach porównawczych przenoszenia tego samego obciążenia dynamicznego przez różne typy sekcji, natomiast wykorzystanie jej do badań niszczących kompletnych sekcji jest, z uwagi na stateczność obiektu badań, bardzo utrudnione.

Aktualnie z badań kompletnych sekcji przy obciążeniu dynamicznym zrezygnowano, ponieważ większość prac badawczych dotyczących dostosowania sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków dynamicznego oddziaływania górotworu, dotyczy odpowiedniego upodatnienia stojaka hydraulicznego.

2.3.2. Badania stojaków przy obciążeniu dynamicznym

Celem badań stojaków przy obciążeniu dynamicznym, prowadzonych w Laboratorium Badań było między innymi sprawdzenie skuteczności zastosowanego upodatnienia stojaka oraz weryfikacja modeli MES urządzeń zabezpieczających stojak przed przeciążeniem dynamicznym.

Problematykę doświadczalnej weryfikacji metod upodatnienia stojaka przedstawiono na przykładzie badań stojaka dwuteleskopowego z wierconym wzdłużnie płaszczem cylindra stopnia II (rozdział 2.3.2.1).

W rozdziale 2.3.2.2 omówiono badania stanowiskowe realizowane celem weryfikacji modelu MES akumulatora gazowego zabezpieczającego stojak hydrauliczny przed przeciążeniem dynamicznym.

2.3.2.1. Badania stojaka dwuteleskopowego

Badaniom sprawdzającym skuteczność upodatnienia sekcji obudowy zmechanizowanej przeznaczonej do pracy w wyrobiskach zagrożonych wstrząsami górotworu poddano stojaki dwuteleskopowe, które zastosowano

w obudowie Glinik-08/22-Oz. Ze względów konstrukcyjnych w ścianie cylindra II. stopnia wymienionych stojaków wykonano podłużne otwory celem doprowadzenia cieczy zasilającej przestrzeń nadłokową. Wiercenie cylindrów osłabiło wytrzymałość konstrukcji w stopniu, który znacznie ograniczył możliwość stosowania tych stojaków w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu.

Celem badań było wykazanie możliwości przejścia dodatkowego obciążenia, wynikającego ze wstrząsów górotworu, przez stojak, poprzez zastosowanie zaworu upustowego o określonej charakterystyce.

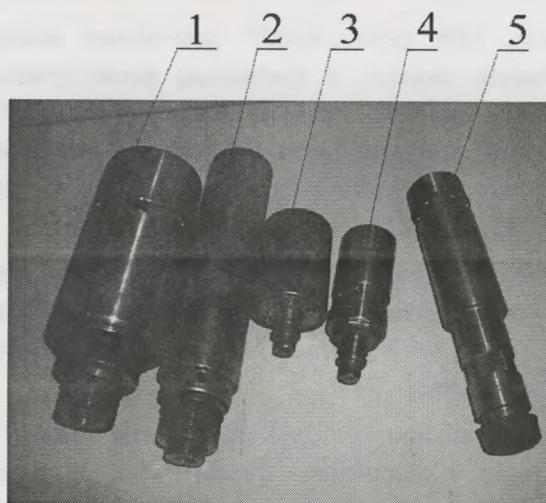
Pełny cykl badań objął próby ze stojakiem dwuteleskopowym z zaworem dennym ϕ 0,21/0,16 m, w wykonaniu standardowym (wersja remontowana), bez zaworów upustowych oraz z zaworami o różnicowanej przepustowości.

Do symulacji obciążenia dynamicznego występującego podczas wstrząsów górotworu zastosowano metodę wybuchową, w której do generowania obciążenia dynamicznego służy energia pochodząca z gwałtownego spalania materiałów wybuchowych, typu miotającego.

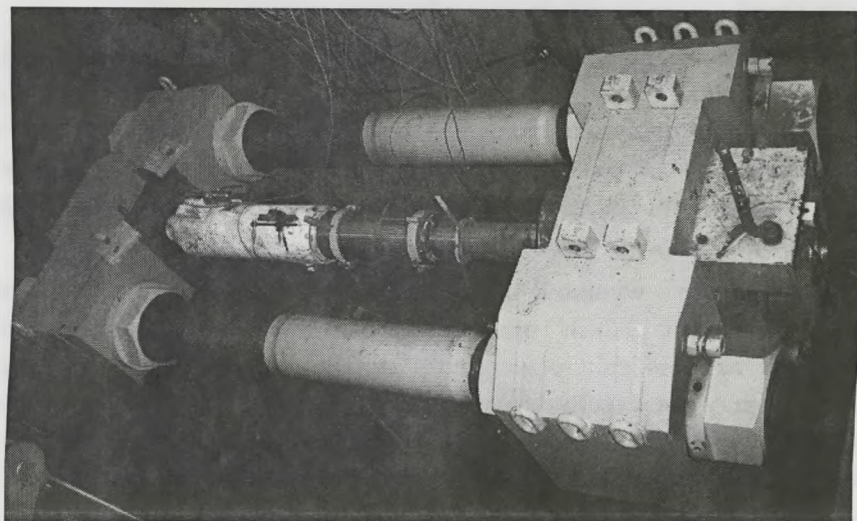
Badania przeprowadzono przy rozparciu stojaka na długość 0,325 m z wysuniętym tylko I. stopniem i na długość 0,925 m lub 0,898 m z wysuniętymi równocześnie dwoma stopniami (I. stopień – 0,510 m, II. stopień – 0,415 m lub 0,388 m) [41].

Do prób wykorzystano jednostopniowe zawory sprężynowe o przepustowości: 250, 400 i 2000 l/min, oznaczone na rysunku 2.56 symbolami 1, 2 i 3. Zawory nr 4 i 5 wykorzystano w badaniach przedstawionych w rozdziale 4.

Badania przeprowadzono w stanowisku poziomym, w którym stojak umieszczono poziomo pomiędzy trawersem stanowiska a łukiem generatora obciążeń dynamicznych. Badania wykonano po rozparciu stojaka do wymaganej podporności. Na rysunku 2.57 przedstawiono stojak w stanowisku badawczym do wykonywania prób metodą wybuchową.



Rys. 2.56. Widok zaworów zastosowanych w badaniach [41]: 1 – 2000 l/min; 2 – 1350 l/min; 3 – 400 l/min; 4 – 250 l/min; 5 – 4700 l/min (dwustopniowy)



Rys. 2.57. Stanowisko do badań dynamicznych stojaków metodą wybuchową [41]

Masę materiału wybuchowego MW, niezbędną do realizacji próby określono doświadczalnie. Zastosowaną początkowo, niewielką masę materiału wybuchowego, którego spalanie wywoływało dynamiczne obciążenie stojaka, stopniowo zwiększano, aż do uzyskania wymaganego ciśnienia w stojaku. W próbach używano dwóch rodzajów MW, charakteryzujących się m.in. krótszym i dłuższym czasem spalania, który ma istotny wpływ na szybkość

przyrostu ciśnienia. MW typu „bazalt” powodował maksymalny przyrost ciśnienia w badanym stojaku, z szybkością porównywalną do szybkości narastania ciśnienia uzyskanej podczas badań na stanowisku kafarowym. MW typu „dąb” powodował maksymalny przyrost ciśnienia w czasie około 12 ms, zbliżonym do czasów narastania ciśnienia, zarejestrowanych w pomiarach dołowych przez S. Szwedę [45].

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem stojaka w wykonaniu standardowym (wersja remontowana) bez zaworu upustowego, a następnie z zaworem, w celu stwierdzenia wpływu jego działania na zmianę charakterystyki dynamicznej.

Próby przeprowadzono z wykorzystaniem zaworów tłoczkowych z uszczelką okrągłą i dociskiem sprężynowym o przepustowości 400 i 2000 l/min oraz o przepustowości 250 l/min. Celem uproszczenia zapisu w dalszej części rozdziału zawory oznaczone dodatkowym symbolem zależnym od jego przepustowości, np. zawór o przepustowości 400 l/min znaczone symbolem zawór 400. Zawory nastawiono na otwarcie przy ciśnieniu równym 38 MPa i podłączono do układu hydraulicznego stojaka.

Korzystając z wyników badań stojaka nie wyposażonego w zawór upustowy określono w formie równania prostej regresji, statystyczną zależność pomiędzy uzyskanym maksymalnym ciśnieniem, a masą użytego materiału wybuchowego. Masę materiału wybuchowego, niezbędną do uzyskania ciśnienia większego od zarejestrowanego w badaniach stojaka bez zaworu upustowego, wstępnie ustalono ekstrapolując równanie prostej regresji.

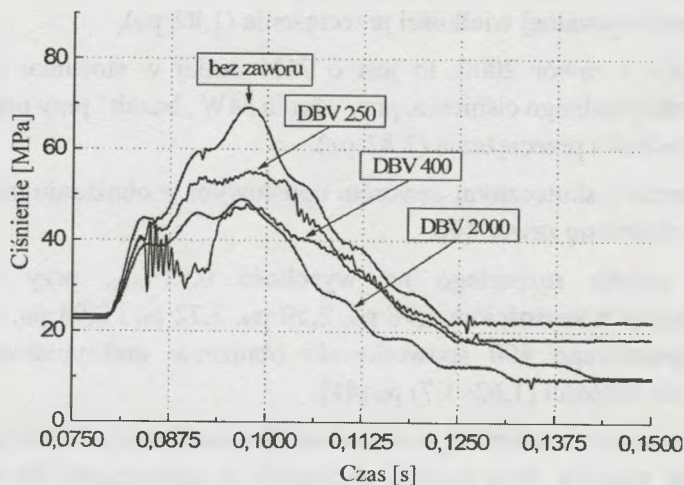
Na podstawie wyników badań stojaka przy obciążeniu dynamicznym z użyciem MW typu „bazalt” można stwierdzić wpływ zastosowania zaworów upustowych na obniżenie przeciążenia stojaka. Dla stojaka z wysuniętym I stopniem, przy obciążeniu odpowiadającym wartości $2,9 \cdot p_N$ (p_N - ciśnienie nominalne), zastosowanie zaworu upustowego 400 spowodowało zmniejszenie maksymalnego ciśnienia w stojaku do wartości równej $1,64 \cdot p_N$, czyli o około 45%. Na poziomie przeciążenia $1,82 \cdot p_N$ zastosowane zawory upustowe zmniejszyły maksymalne ciśnienie w stojaku o około [41]:

- 21% - zawór 250,
- 31% - zawór 400,
- 29% - zawór 2000.

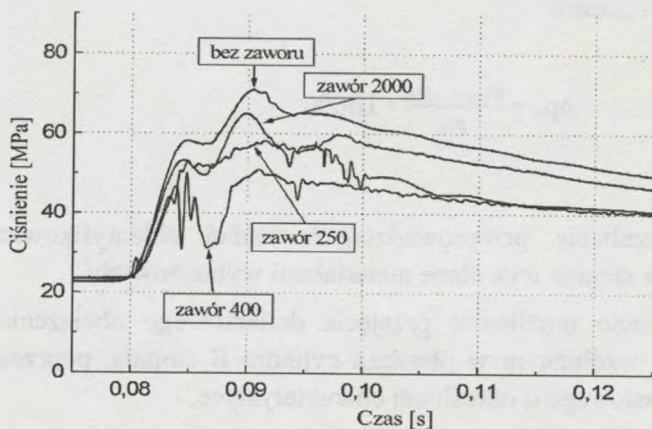
Na rysunku 2.58 przedstawiono przebiegi czasowe ciśnienia cieczy podczas badań stojaka z wysuniętym I stopniem, na długości 0,325 m.

Dla stojaka rozpartego na długość $0,85 \cdot l_{max}$, przy obciążeniu odpowiadającym wartości $2,5 \cdot p_N$, zawór 400 spowodował obniżenie przeciążenia do wartości p_{max}/p_N równej 1,59 czyli o około 36% [41].

Z uzyskanych wyników badań stojaka z wysuniętym tylko I stopniem na długość $0,31 \cdot l_{max}$, przy użyciu do wymuszenia obciążenia dynamicznego MW typu „dąb”, widoczny jest również zauważalny wpływ zastosowanych zaworów upustowych na obniżenie maksymalnego ciśnienia w stojaku lecz mniejszy niż miało to miejsce przy zastosowaniu MW typu „bazalt” [41].



Rys. 2.58. Przebiegi ciśnienia cieczy w funkcji czasu, w stojaku w wykonaniu standardowym podczas obciążenia dynamicznego z użyciem MW typu „bazalt”. Wysuw $0,31 \cdot l_{max}$ (I st. 0325 m) [41]



Rys. 2.59. Przebiegi ciśnienia cieczy w funkcji czasu w stojaku w wykonaniu standardowym podczas obciążenia dynamicznego z użyciem MW typu „dąb”. Wysuw $0,31 \cdot l_{max}$ (I st. 0325 m) [41].

Na poziomie przeciążenia $1,87 \cdot p_N$ zastosowane zawory upustowe zmniejszyły maksymalne ciśnienie w stojaku o (rys. 2.59) [41]:

- 15,6% - zawór 250, to jest o 25% mniej w stosunku do obniżenia maksymalnego ciśnienia, przy użyciu MW „bazalt”, przy porównywalnej wielkości przeciążenia ($1,82 \cdot p_N$),
- 28,3% - zawór 400, to jest o 7% mniej w stosunku do obniżenia maksymalnego ciśnienia, przy użyciu MW „bazalt”, przy porównywalnej wielkości przeciążenia ($1,82 \cdot p_N$),
- 8,4% - zawór 2000, to jest o 71% mniej w stosunku do obniżenia maksymalnego ciśnienia, przy użyciu MW „bazalt” przy porównywalnej wielkości przeciążenia ($1,82 \cdot p_N$).

Najbardziej skutecznym zaworem upustowym w obniżaniu maksymalnego ciśnienia, okazał się zawór 400.

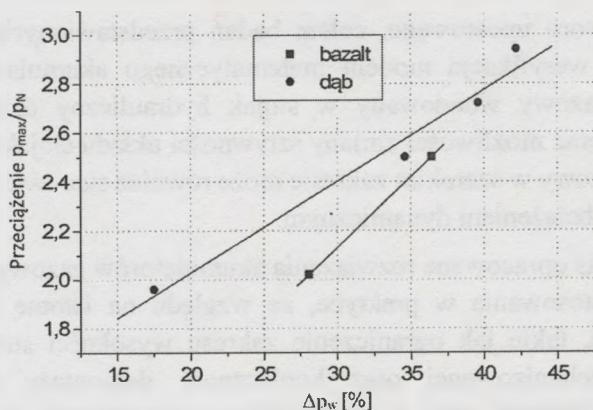
Dla stojaka rozpartego na wysokość $0,91 \cdot l_{max}$, przy obciążeniach odpowiadających wartościom $1,96 \cdot p_N$, $2,50 \cdot p_N$, $2,72 \cdot p_N$ i $2,94 \cdot p_N$, zastosowanie zaworu upustowego 400 spowodowało obniżenie maksymalnego ciśnienia w stojaku do wartości $(1,62 \div 1,7) p_N$ [41].

Można zatem stwierdzić, że skuteczność zastosowanych zaworów była tym większa im większa, była wartość obciążenia dynamicznego. Na rysunku 2.60 przedstawiono zależność p_{max}/p_N od procentowego zmniejszenia maksymalnego ciśnienia Δp_w (wzór 2.20), dla stojaka rozpartego na długość $0,91 \cdot l_{max}$ z zastosowanym zaworem 400, dla obciążeń dynamicznych przy użyciu MW typu „dąb” i „bazalt”.

$$\Delta p_w = \frac{p_{max} - p_N}{p_N} \cdot 100\% \quad (2.20)$$

W rezultacie przeprowadzonych badań zidentyfikowano obciążenie wewnętrzne stojaka wywołane materiałami wybuchowymi.

Wykazano możliwość przejścia dodatkowego obciążenia przez stojak z otworem wzdłużnym w płaszczu cylindra II stopnia, poprzez zastosowanie zaworu upustowego o określonej charakterystyce.



Rys. 2.60. Zależność wartości przeciążenia p_{max}/p_N od procentowego zmniejszenia maksymalnego ciśnienia p_{max} podczas obciążeń dynamicznych, stojaka w wykonaniu standardowym z zaworem 400, przy użyciu MW typu „bazalt” i „dąb” [41]

Skuteczność działania zaworu upustowego, rozumiana jako zdolność do zabezpieczenia przestrzeni podtłokowej przed obciążeniami dynamicznymi, z równoczesnym utrzymywaniem podporności, zależała nie tylko od jego parametrów konstrukcyjnych, ale również od parametrów dynamicznych i sposobu włączenia zaworu do układu hydraulicznego. Parametry dynamiczne zaworu należałoby zatem zweryfikować w badaniach stanowiskowych, z konkretnym typem stojaka, którego ten zawór miałby zabezpieczać przed obciążeniami dynamicznymi, uwzględniając przewidywane obciążenia oraz sposób jego instalacji do stojaka. Podczas badań stanowiskowych okazało się, że zawór o nominalnie niższej przepustowości (400 l/min) był skuteczniejszy od zaworu o wyższej przepustowości (2000 l/min), zarówno w obniżeniu maksymalnego ciśnienia, jak i w utrzymaniu podporności stojaka po jego zadziałaniu. Lepsza skuteczność zamknięcia zaworu o przepustowości 400 l/min była szczególnie widoczna przy szybszych przebiegach obciążenia dynamicznego [41].

Niezależnie od badań przeprowadzonych w KOMAG-u dla potrzeb realizacji pracy [41] w Głównym Instytucie Górnictwa wykonano analogiczne badania stojaka metodą kafarową. Ich przebieg omówiono w rozdziale 4.

2.3.2.2. Weryfikacja doświadczalna modelu stojaka z akumulatorem gazowym

W odróżnieniu od omówionych powyżej badań, których celem było wykazanie możliwości przeniesienia przez stojak obciążenia dynamicznego spowodowanego wstrząsem górotworu, dzięki zastosowaniu odpowiednio

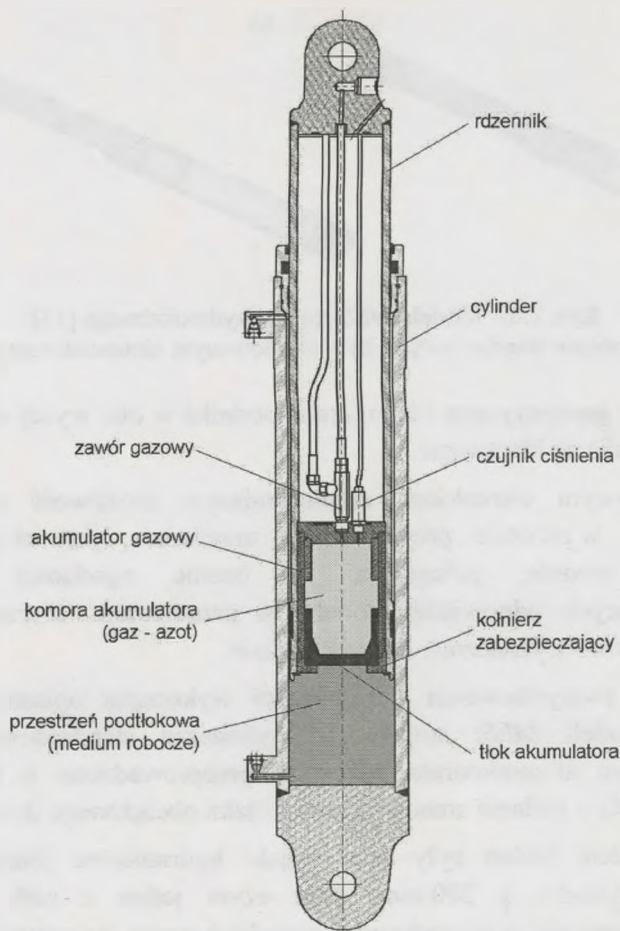
dobranego zaworu upustowego, celem badań przedstawionych w niniejszym rozdziale jest weryfikacja modelu matematycznego akumulatora gazowego. Akumulator gazowy wbudowany w stojak hydrauliczny dzięki niewielkiej bezwładności oraz możliwości zmiany sztywności układu stojak hydrauliczny – akumulator gazowy w szerokim zakresie może również stanowić zabezpieczenie stojaka przed obciążeniem dynamicznym.

Dotychczas opracowane rozwiązania akumulatorów gazowych nie znalazły szerokiego zastosowania w praktyce, ze względu na istotne niedogodności, między innymi, takie jak ograniczenie zakresu wysokości stosowania sekcji obudowy zmechanizowanej oraz konieczność demontażu stojaka celem sprawdzenia ciśnienia gazu i ewentualnego uzupełnienia jego zawartości w akumulatorze. Niedogodności te wyeliminowano w prototypie akumulatora gazowego, opracowanym w KOMAG-u.

Na rysunku 2.61 przedstawiono akumulator gazowy, zaprojektowany w KOMAG-u. Akumulator gazowy, zamontowany w rdzenniku stojaka, składa się z cylindra, tłoka (wyposażonego w pierścienie: uszczelniające i prowadzące) i kołnierza zabezpieczającego tłok akumulatora (oraz cylinder) przed wysunięciem do przestrzeni podtłokowej stojaka. W dnie akumulatora zamontowany jest zawór gazowy, przez który zasilana jest komora oraz przetwornik ciśnienia, służący do kontroli stanu gazu [15].

Opracowując model numeryczny akumulatora gazowego zastosowano metodę elementów skończonych, metodę objętości skończonych oraz metodę - ALE - interakcji modelu ciała stałego i płynu [15].

Warunkiem prawidłowego zaprojektowania akumulatora gazowego jest opracowanie metody doboru parametrów tego urządzenia, takich jak: początkowe ciśnienie gazu i początkowa objętość komory, umożliwiającej uzyskanie pożądanych zmian właściwości sprężystych układu stojak hydrauliczny – akumulator gazowy. Wszechstronne rozpoznanie możliwości kształtowania przebiegu czasowego zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka poprzez zmianę parametrów akumulatora gazowego jest możliwe dzięki zastosowaniu metody elementów skończonych. Stosując modele *MES* można bowiem w znacznie szerszym zakresie niż w przypadku badań stanowiskowych, przeprowadzić analizę wrażliwości odpowiedzi stojaka hydraulicznego przy zadanym wymuszeniu [15].

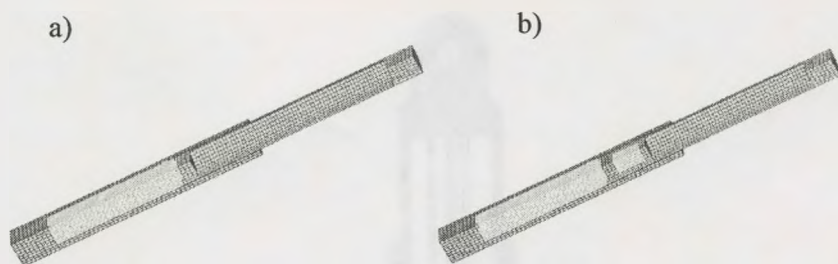


Rys. 2.61. Schemat zabudowy akumulatora gazowego w stojaku hydraulicznym [15]

Pod pojęciem „odpowiedź stojaka hydraulicznego przy zadanym wymuszeniu” rozumie się zakres zmian wybranych wielkości fizycznych charakteryzujących przebieg czasowy ciśnienia medium roboczego, takie jak: maksymalna wartość ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podtłokowej stojaka i tempo przyrostu tego ciśnienia.

W celu, między innymi, określenia zmian parametrów charakteryzujących przebieg czasowy ciśnienia medium roboczego, powstałych wskutek zastosowania akumulatora gazowego przeprowadzono obliczenia z wykorzystaniem dwóch modeli MES:

- modelu stojaka w wykonaniu standardowym (rys. 2.62 a),
- modelu stojaka wyposażonego w akumulator gazowy (rys. 2.62 b).



Rys. 2.62. Modele *MES* stojaka hydraulicznego [15]:
a) w wykonaniu standardowym, b) z wbudowanym akumulatorem gazowym

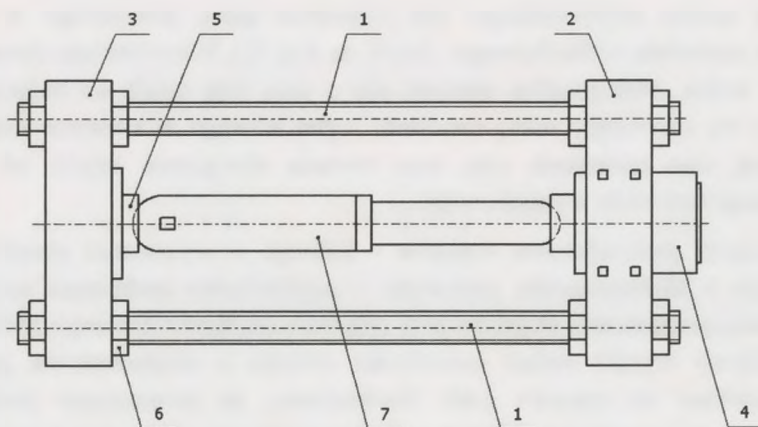
Cechy geometryczne rdzennika i spodnika w obu wyżej wymienionych modelach stojaka są identyczne.

Podstawowym warunkiem, determinującym możliwość wykorzystania modelu *MES* w procesie projektowania urządzenia, jest eksperymentalna weryfikacja modelu, polegająca na ocenie zgodności parametrów charakteryzujących odpowiedź modelu, z parametrami charakteryzującymi przebiegi czasowe wyznaczone doświadczalnie.

W celu zweryfikowania poprawności wykonania opisanych powyżej, złożonych modeli *MES*: stojaka w wykonaniu standardowym i stojaka z wbudowanym akumulatorem gazowym przeprowadzono w Laboratorium Badań KOMAG-u badania stanowiskowe stojaka obciążonego dynamicznie.

Przedmiotem badań były dwa stojaki hydrauliczne jednoteleskopowe o średnicy cylindra ϕ 200 mm, przy czym jeden z nich wyposażono w akumulator gazowy, o początkowej objętości komory, wynoszącej 2,3 l.

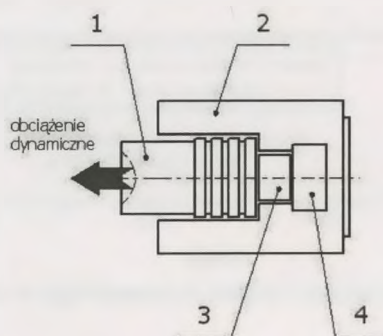
Badania wykonano na stanowisku badawczym, na którym dynamiczne oddziaływanie górotworu na stojak symulowane jest za pomocą energii pochodzącej ze spalania materiału wybuchowego typu miotającego. Schemat stanowiska badawczego, przedstawiono na rysunku 2.63.



Rys. 2.63. Schemat stanowiska badawczego:

1 – śruby prowadzące, 2 i 3 – trawersy, 4 – generator obciążenia dynamicznego,
5 – wymienialny wkład, 6 – nakrętka, 7 – stojak hydrauliczny

Badany stojak hydrauliczny rozpierany jest na stanowisku pomiędzy trawersami – ruchomym (3), blokowanym nakrętkami, (6) i nieruchomym (2) z zabudowanym generatorem obciążenia dynamicznego (4). Schemat generatora obciążenia dynamicznego przedstawiono na rysunku 2.64.



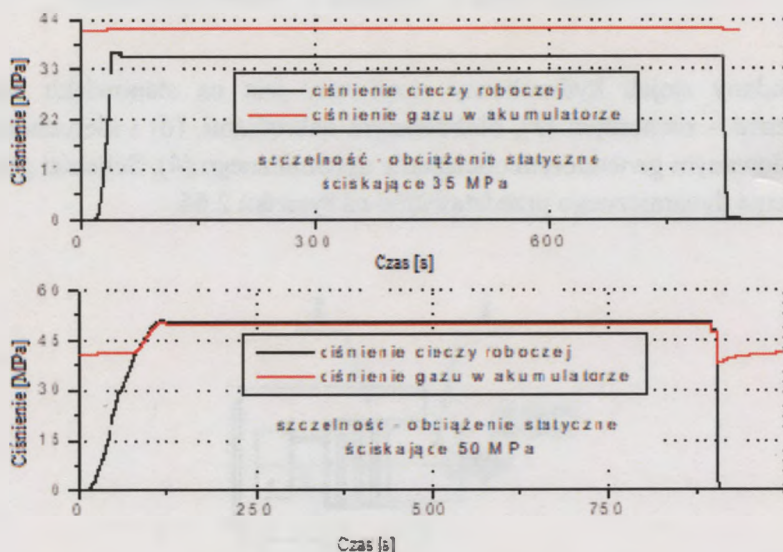
Rys. 2.64. Schemat generatora obciążenia dynamicznego [15]

1 – tłok, 2 – cylinder, 3 – komora ładunkowa, 4 – zamek artyleryjski

Podstawowym elementem generatora jest tłok (1) umieszczony w cylindrze (2) z wbudowaną komorą ładunkową (3), w której umieszcza się ładunki prochowe w łuskach. Zamknięcia komory ładunkowej dokonuje się za

pomocą zamka artyleryjskiego (4). Ciśnienie gazu, powstałego w wyniku spalania materiału wybuchowego, działa na tłok (1), który obciąża dynamicznie badany stojak. Maksymalną wartość siły z jaką tłok działa na badany obiekt reguluje się zmieniając masę materiału wybuchowego w komorze generatora, natomiast czas narastania oraz czas trwania obciążenia zależy od rodzaju i granulacji materiału wybuchowego.

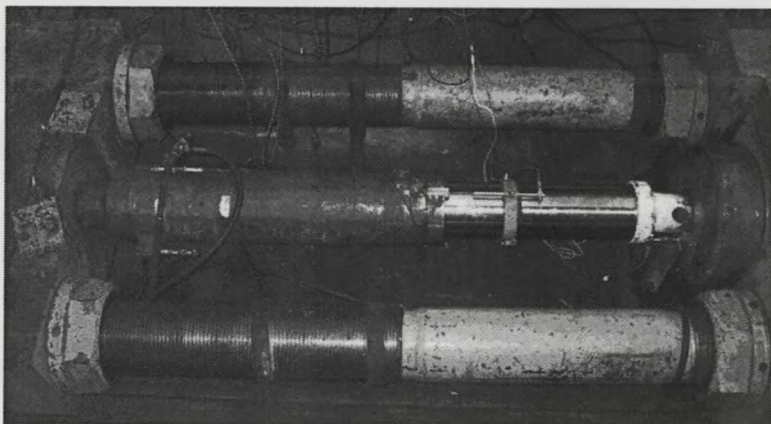
Badania stanowiskowe stojaków – jednego w wykonaniu standardowym i jednego z akumulatorem gazowym – poprzedzono badaniami szczelności przestrzeni podtłokowej stojaków przy ciśnieniu medium roboczego 35 i 50 MPa. Przykładowe wyniki badań szczelności stojaka z akumulatorem gazowym przedstawiono na rysunku 2.65. Stwierdzono, że przestrzenie podtłokowe stojaków oraz komora akumulatora gazowego były szczelne, gdyż podczas badań nie odnotowano spadku ciśnienia zarówno w przestrzeniach podtłokowych stojaków, jak również w komorze akumulatora gazowego.



Rys. 2.65. Badanie szczelności stojaka wyposażonego w akumulator gazowy [29]

Badania stanowiskowe stojaków przy obciążeniu dynamicznym przeprowadzono następująco. W pierwszej kolejności w ramie stanowiska zamontowano stojak w wykonaniu standardowym, w którym wysokość słupa medium roboczego pod tłokiem, wynosiła 650 mm, a ciśnienie wstępne 24 MPa. Stojak hydrauliczny w wykonaniu standardowym przygotowany do badań stanowiskowych przedstawiono na rysunku 2.66.

Badania rozpoczyna się od spalania małej masy ładunku materiału wybuchowego (MW), a następnie przez stopniowe jej zwiększanie dochodzi się do wartości masy, przy której spalaniu osiąga się wymagane ciśnienie.



Rys. 2.66. Widok stojaka w wykonaniu standardowym w stanowisku badawczym [15]

W wyniku przeprowadzonych prób ustalono, że wymaganą maksymalną wartość ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka o wartości 60 MPa, stanowiącej 1,7-krotność ciśnienia roboczego uzyskuje się w wyniku odpalenia ładunku zawierającego 150 g materiału wybuchowego typu „Dqb” i 5 g podsypki – materiału wybuchowego typu „Wiśnia”. Po ustaleniu masy ładunku materiału wybuchowego wykonano w każdej serii badań po trzy próby, odpalając ładunek o ustalonej masie.

Po zakończeniu serii badań stojaka w wykonaniu standardowym w ramie stanowiska zamontowano stojak wyposażony w akumulator gazowy, wypełniony azotem o ciśnieniu 40 MPa. Rdzennik stojaka wysunięto, uzyskując wysokość słupa medium roboczego, wynoszącą 650 mm. Podobnie jak w przypadku stojaka w wykonaniu standardowym wykonano serię trzech prób, stosując tę samą masę i rodzaj materiału wybuchowego, jak w przypadku stojaka w wykonaniu standardowym.

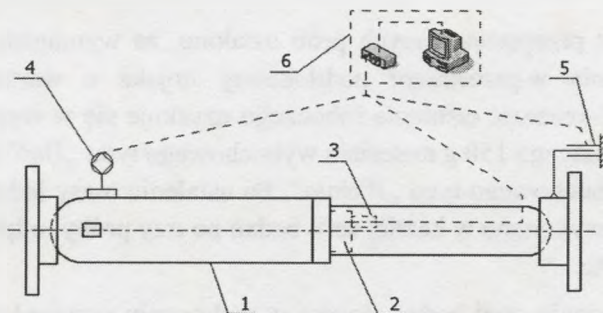
Analizując zarejestrowane przebiegi czasowe przemieszczenia tłoka generatora i przebiegi czasowe ciśnienia medium roboczego, stwierdzono, że w trakcie działania obciążenia dynamicznego tłok generatora nie odrywa się od głowicy stojaka. W związku z tym przyjęto, że przemieszczenie tłoka generatora równe jest zsuwowi badanego stojaka.

W trakcie badań rejestrowano przebiegi czasowe ciśnienia medium roboczego i ciśnienia gazu oraz przemieszczenie tłoka generatora obciążenia dynamicznego. Zastosowano następującą aparaturę pomiarową:

- tensometryczne przetworniki ciśnienia (zakres do 200 MPa, klasa dokładności 0,2 i częstotliwość własna membrany 100 kHz),
- indukcyjny czujnik przemieszczenia (zakres ± 50 mm, klasa dokładności 0,2 i częstotliwość nośna 4,8 kHz),
- wzmacniacz typu Spider 8 firmy Hottinger (klasa dokładności 0,1 i częstotliwość próbkowania 4,8 kHz).

Uwzględniając klasę dokładności poszczególnych elementów toru pomiarowego oszacowano błąd pomiaru, wynoszący przy 95% poziomie ufności 0,754 MPa – w przypadku pomiaru ciśnienia oraz 0,599 mm – w przypadku pomiaru przemieszczenia.

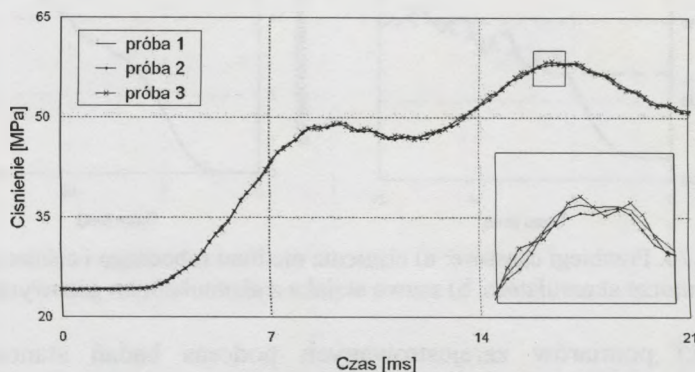
Rejestrację i archiwizację danych pomiarowych prowadzono za pomocą specjalistycznego programu komputerowego CATMAN 4.5. Schemat stojaka z układem pomiarowo-rejestrującym i zaznaczonymi punktami pomiarowymi przedstawiono na rysunku 2.67.



Rys. 2.67. Schemat układu pomiarowo-rejestrującego [15]
1 – stojak, 2- akumulator gazowy, 3 i 4 – przetwornik ciśnienia,
5 – czujnik indukcyjny, 6 – układ pomiarowo-rejestrujący

Wyniki pomiarów w postaci przebiegów czasowych ciśnienia medium roboczego, ciśnienia gazu i zsuwu stojaka zostały wykorzystane do weryfikacji zgodności modeli *MES* z obiektami rzeczywistymi. Pomiar przemieszczenia tłoka generatora obciążenia dynamicznego wykorzystano do modelowania wymuszenia kinematycznego działającego na stojak w trakcie badań stanowiskowych.

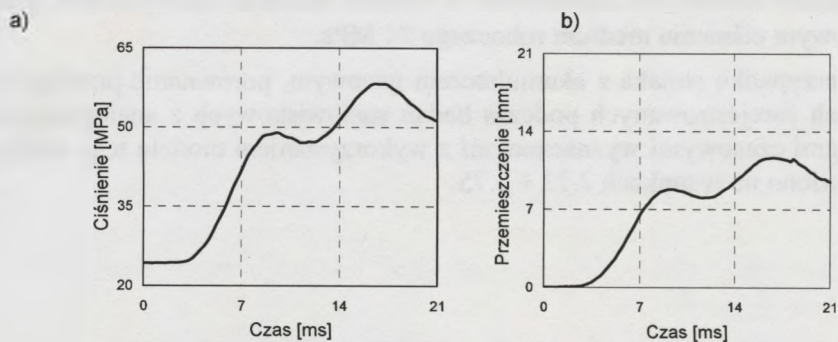
Na rysunku 2.68 przedstawiono przebiegi czasowe ciśnienia medium roboczego, w przestrzeni podtłokowej stojaka w wykonaniu standardowym, uzyskane w poszczególnych realizowanych próbach.



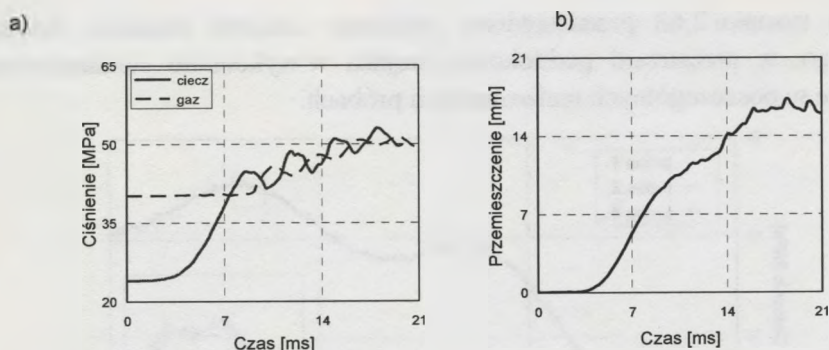
Rys. 2.68. Przebiegi czasowe ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podtłokowej stojaka w wykonaniu standardowym [15]

Różnice pomiędzy wartościami ciśnienia, zarejestrowanymi w kolejnych próbach, są porównywalne z dokładnością toru pomiarowego, wynoszącą w przypadku sygnałów ciśnienia 0,754 MPa. W związku z tym, na rysunku 2.69a przedstawiono przebieg czasowy wartości średniej ciśnienia medium roboczego wyznaczonej na podstawie wyników pomiarów przedstawionych na rysunku 2.68.

Analizując wszystkie zarejestrowane przebiegi czasowe stwierdzono, że uzasadnione jest rozpatrywanie w dalszej części pracy przebiegów czasowych uśrednionych. W związku z powyższym, na rysunkach 2.69b i 2.70 przedstawiono przykładowe uśrednione przebiegi czasowe: ciśnienia medium roboczego (w przestrzeni podtłokowej stojaka), ciśnienia gazu (w komorze akumulatora), zsuwu stojaka, uzyskane w trakcie badań stanowiskowych stojaka w wykonaniu standardowym i stojaka wyposażonego w akumulator gazowy.



Rys. 2.69. Przebiegi czasowe: a) ciśnienia medium roboczego, b) zsuwu stojaka w wykonaniu standardowym [15]



Rys. 2.70. Przebiegi czasowe: a) ciśnienia medium roboczego i ciśnienia gazu w komorze akumulatora, b) zsuwu stojaka z akumulatorem gazowym [15]

Wyniki pomiarów zarejestrowanych podczas badań stanowiskowych wykorzystano do weryfikacji modeli *MES* stojaków.

Przedmiotem weryfikacji były przebiegi czasowe wielkości fizycznych zarejestrowanych w trakcie badań i tych samych wielkości fizycznych – wyznaczonych w wyniku symulacji komputerowej. W przypadku stojaka w wykonaniu standardowym porównano przebiegi czasowe:

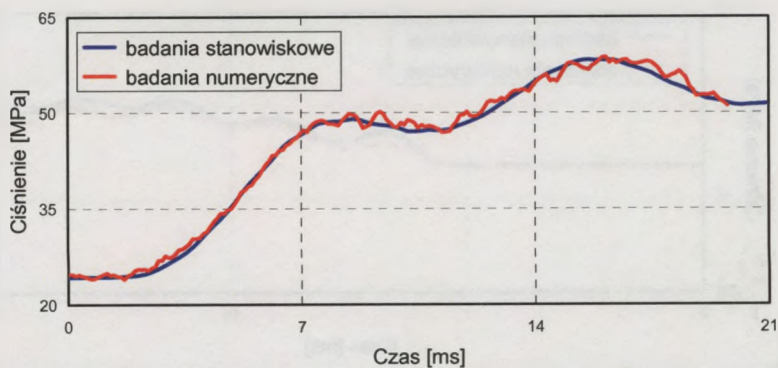
- ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podtłokowej stojaka,
- zsuwu stojaka.

Weryfikacja modelu stojaka z akumulatorem gazowym dotyczyła porównania przebiegów czasowych:

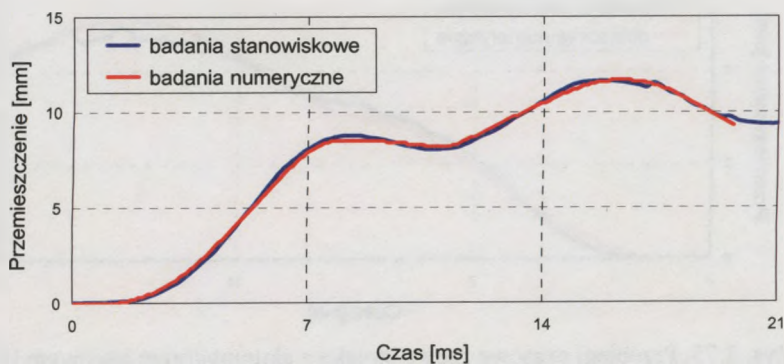
- ciśnienia gazu w komorze akumulatora,
- ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podtłokowej stojaka,
- zsuwu stojaka.

Przykładowo na rysunkach 2.71 i 2.72 przedstawiono przebiegi czasowe zarejestrowane w trakcie badań stojaka w wykonaniu standardowym z przebiegami czasowymi uzyskanymi w wyniku obliczeń numerycznych, przy początkowym ciśnieniu medium roboczego 24 MPa.

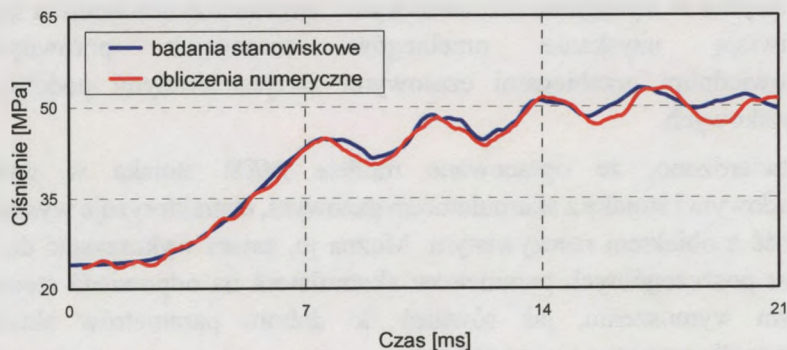
W przypadku stojaka z akumulatorem gazowym, porównanie przebiegów czasowych zarejestrowanych podczas badań stanowiskowych z analogicznymi przebiegami czasowymi wyznaczonymi z wykorzystaniem modelu tego stojaka przedstawiono na rysunkach 2.73 ÷ 2.75.



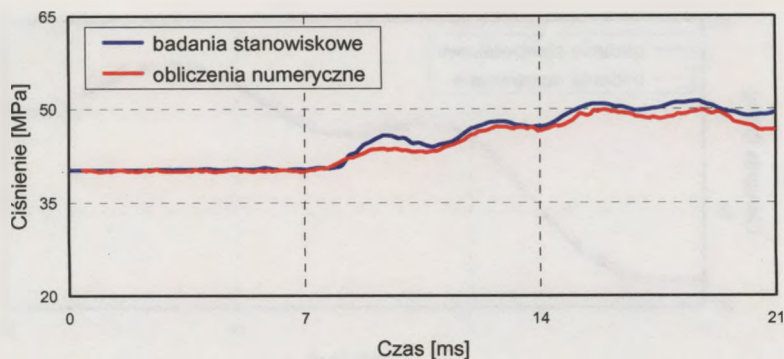
Rys. 2.71. Przebiegi czasowe ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podtłokowej stojaka w wykonaniu standardowym [15]



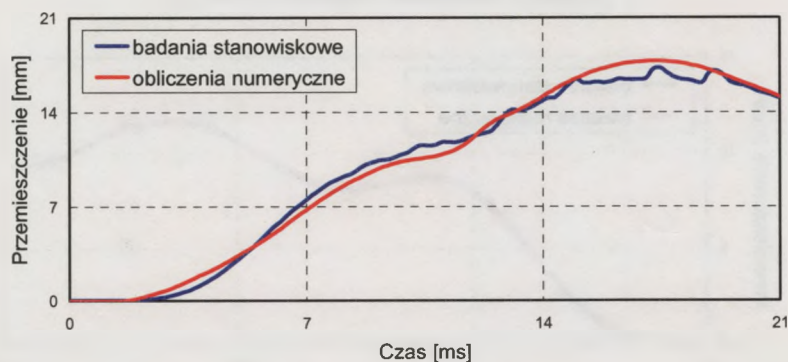
Rys. 2.72. Przebiegi czasowe zsuwu stojaka w wykonaniu standardowym [15]



Rys. 2.73. Przebiegi czasowe ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podtłokowej stojaka z akumulatorem gazowym [15]



Rys. 2.74. Przebiegi czasowe ciśnienia gazu w komorze akumulatora [15]



Rys. 2.75. Przebiegi czasowe zsuwu stojaka z akumulatorem gazowym [15]

Z wykresów przedstawionych na rysunkach 2.71 ÷ 2.75 wynika, że modele *MES*: stojaka w wykonaniu standardowym i stojaka z akumulatorem gazowym umożliwiają uzyskanie przebiegów czasowych porównywalnych z odpowiednimi przebiegami czasowymi zarejestrowanymi podczas badań stanowiskowych.

Stwierdzono, że opracowane modele *MES*: stojaka w wykonaniu standardowym i stojaka z akumulatorem gazowym, charakteryzuje wystarczająca zgodność z obiektem rzeczywistym. Można je, zatem wykorzystać do analizy wpływu poszczególnych parametrów akumulatora na odpowiedź stojaka przy zadanym wymuszeniu, jak również do doboru parametrów akumulatora gazowego dla rozpatrywanego stojaka.

3. Badania sprawdzające wymagania bezpieczeństwa

Górnicza obudowa zmechanizowana, jako podstawowy element kompleksu ścianowego, decyduje o bezpieczeństwie stanowiskowym i procesowym w wyrobisku ścianowym.

Jest ona zakwalifikowana do urządzeń o zwiększonym ryzyku występowania zagrożeń, wymagających szczególnego postępowania przed jej wprowadzeniem do stosowania, co zawarto w obowiązującej obecnie Dyrektywie Maszynowej 2006/42/WE [3]. Zdefiniowano w niej jedynie podstawowe wymagania bezpieczeństwa użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej. Szczegółowe wymagania przedstawiono w trzech normach europejskich, zharmonizowanych z ww. dyrektywą, wdrożonych w Polsce jako PN-EN 1804-1+A1:2011, PN-EN 1804-2+A1:2012 i PN-EN 1804-3+A1:2012. Normy te obejmują swoim zakresem sekcje obudowy zmechanizowanej, stojaki, siłowniki oraz zawory hydrauliczne. W przypadku ścianowej obudowy zmechanizowanej spełnienie wymagań trzech norm zharmonizowanych (tzw. domniemanie zgodności) potwierdza zgodność z wymaganiami zasadniczymi ujętymi w Dyrektywie Maszynowej.

Sekcje obudowy zmechanizowanej i jej elementy (siłowniki i zawory) podlegają badaniom zgodnie z Załącznikami A norm PN-EN 1804-1+A1:2011, PN-EN 1804-2+A1:2012 i PN-EN 1804-3+A1:2012 [21,22,23]. Badanie typu jest częścią procedury oceny wyrobu, w wyniku której ocenia się i poświadczą, że reprezentatywna próbka wyrobu spełnia odpowiednie wymagania normy. Badanie to bardzo często, jest elementem procesu związanego z oceną zgodności zakończoną wydaniem przez jednostkę notyfikowaną certyfikatu badania typu WE.

Należy wspomnieć, że przed wprowadzeniem obecnie funkcjonującej Dyrektywy Maszynowej 2006/42/WE oraz norm z nią zharmonizowanych serii PN-EN 1804, Laboratorium Badań stosowało podobne procedury badawcze, gdyż wcześniejsza dyrektywa maszynowa 98/37/EC oraz wcześniejsze wydania wspomnianych norm zharmonizowanych (seria EN 1804 z 2002 roku) w zakresie dotyczącym badań zawierały wymagania zgodne z wymaganiami ujętymi w normach [21, 22, 23].

Przed wejściem Polski do Unii Europejskiej procedury badawcze dotyczące badania obudów zmechanizowanych oparte były na wymaganiach Polskich Norm - między innymi: PN-G-50041:2000, PN-G-15530:1996, PN-G-15537:1999,

PN-93/G-50000 oraz „Wymagań konstrukcyjnych i wytrzymałościowych dla obudów zmechanizowanych” [19, 20, 24, 25, 51].

Istotne różnice pomiędzy wcześniejszymi procedurami, a normami zharmonizowanymi z serii EN-1804 występują w zakresie wymagań i badań. Normy zharmonizowane z serii EN-1804 kładą duży nacisk na badania trwałościowe dla różnych rodzajów obciążenia. Równocześnie wartości wymaganych współczynników przeciążeniowych są mniejsze od obowiązujących przed wejściem Polski do Unii Europejskiej. Sposób prowadzenia badań obejmuje szeroki i różnorodny zakres realizowanych przypadków obciążenia i zazwyczaj badaniu poddany jest dany element wraz ze współpracującym elementem.

Badania sprawdzające wymagania bezpieczeństwa, omówione w rozdziale 3.1, odnoszą się do wymagań i procedur badawczych zawartych w normach serii PN-EN 1804.

3.1. Badania sekcji obudowy zmechanizowanej

Zgodnie z wymaganiami normy [21] istotny wpływ na program i warunki przeprowadzania badań ma dokumentacja techniczna sekcji obudowy zmechanizowanej, a w szczególności obliczenia statyczne sekcji. Na ich podstawie określa się między innymi: wysokość rozparcia sekcji przy której występują maksymalne obciążenia jej elementów, współrzędne wypadkowej podporności sekcji, wartość siły poziomej działającej na sekcję w trakcie badań oraz wymagania dotyczące belek obciążających usytuowanych pomiędzy elementami sekcji a stanowiskiem.

Zestawienie wymogów bezpieczeństwa weryfikowanych w trakcie badań stanowiskowych przedstawiono w tabeli 3.1.

Badania stanowiskowe sekcji obudowy w celu sprawdzenia wymagań bezpieczeństwa [21]

Tabela 3.1

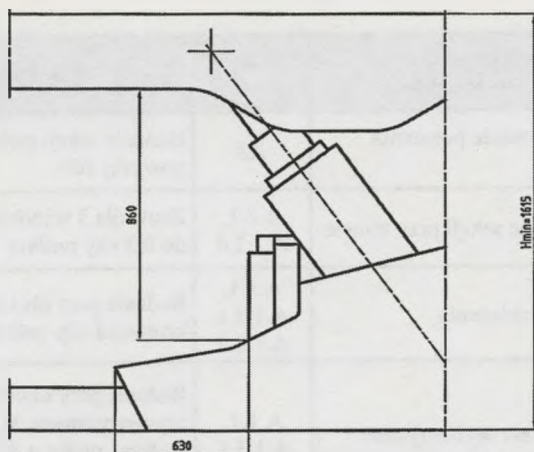
Pkt. normy	Wymagania bezpieczeństwa	Pkt. normy	Sprawdzenie
5.1.1	Droga przejścia		Pomiary
5.1.5	Zaczepty transportowe	A4	Obciążenie zaczepów siłą czterokrotnie większą od nominalnej
5.2.1	Stateczność sekcji		Badanie funkcjonalności lub obliczenia

cd. tabeli 3.1

Pkt. normy	Wymagania bezpieczeństwa	Pkt. normy	Sprawdzenie
5.2.2	Korygowanie położenia sekcji	A3	Badanie sekcji przy nachyleniu powyżej 30°
5.3.1	Podatność sekcji przy zsuwie	A.1.1, A.1.2.4	Zsuw dla 3 wysokości, siła pozioma do 0,3 siły próbnej
5.3.2	Stan przeciążenia	A.1.1, A.1.2.1 A.1.2.2	Badanie przy obciążeniu równym 1,2-krotności siły próbnej
5.3.3	Obciążenie asymetryczne	A.1.1, A.1.3.4	Badanie przy obciążeniu asymetrycznym. Wysokość sekcji podczas próby o 300 mm większa od minimalnej
5.3.5	Obciążenie styczne do stropu	A.1.1, A.1.2.5 A.1.3.5	Badanie siłą poziomą równą 0,3-krotności siły pionowej, Siła pozioma w kierunku zrobów
5.3.6	Zachowanie funkcjonalności	A.1.1, A.1.3	Badania zmęczeniowe obejmujące co najmniej 26 000 cykli obciążenia dla różnych sposobów podparcia
5.3.7	Elementy mocowania stojaków i siłowników	A.1.1, A.1.2.3	Badanie siłą równą 1,5-krotności siły rozciągającej i ściskającej

3.1.1. Badania funkcjonalności sekcji

Celem badań funkcjonalności sekcji jest sprawdzenie jej cech użytkowych umożliwiających bezpieczną realizację poszczególnych funkcji zmechanizowanej obudowy ścianowej. Przykładowo w trakcie całego cyklu badań stanowiskowych sprawdza się dogodność montażu i demontażu sekcji w aspekcie łatwego i bezpiecznego wykonania tych czynności. Pomiary szerokości i wysokości przejścia wykonuje się w celu określenia rzeczywistej szerokości i wysokości przejścia, przy ustawionej minimalnej wysokości sekcji obudowy. Przykładowo na rysunku 3.1 przedstawiono wymiary do określenia przejścia przy minimalnej wysokości sekcji obudowy typu H-16/33-POz.



Rys. 3.1. Wymiary do określenia przejścia przy minimalnej wysokości sekcji obudowy H-16/33-POz

Sprawdzenia funkcjonalności i sterowności sekcji dokonuje się poprzez kontrolę:

- parametrów ruchowych poszczególnych elementów i podzespołów sekcji obudowy, takich jak: wysunięcie stropnicy wysuwnej, kąty wychyłu osłony czoła ściany oraz wysuw belki układu przesuwnego,
- działania elementów sterowniczych układu hydraulicznego w aspekcie możliwości poprawnego wykonania wszystkich faz pracy sekcji obudowy,
- działania urządzeń do korekcji położenia stropnic.

Badania stateczności wolnostojącej sekcji obudowy przeprowadza się stanowisku do badań kinematyki i funkcjonalności obudów zmechanizowanych.

Badania stateczności wykonuje się dla trzech ustawień sekcji obudowy:

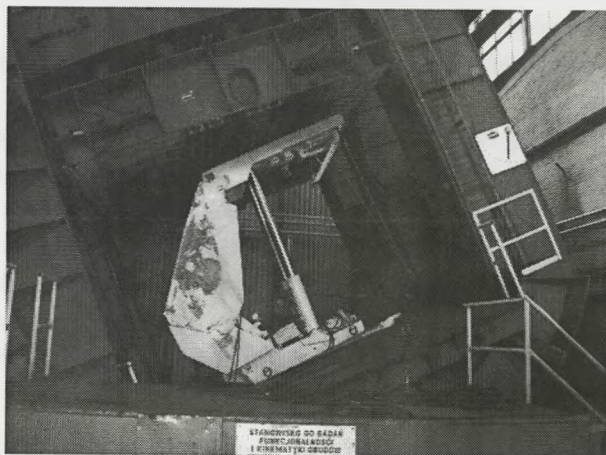
- względem jej osi podłużnej (rys. 3.2),
- względem jej osi poprzecznej, po upadzie (rys. 3.3),
- względem jej osi poprzecznej, po wzniosie (rys. 3.4).



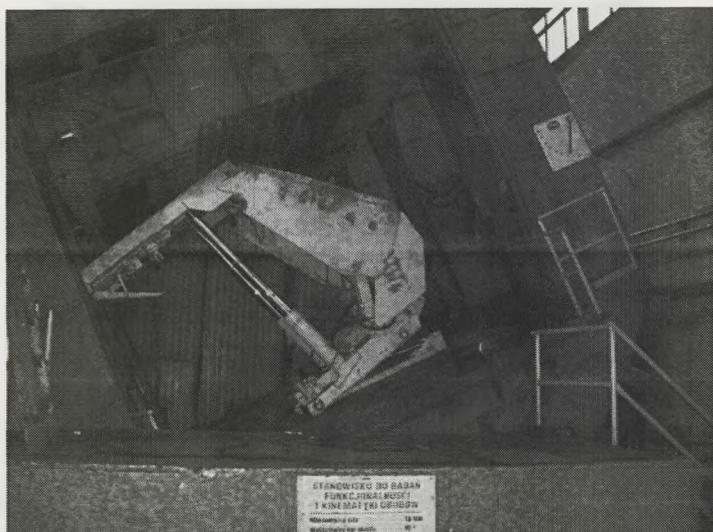
Rys. 3.2. Widok ogólny sekcji obudowy podczas badań stateczności względem jej osi podłużnej [31]

Sekcję obudowy wstawia się do stanowiska badawczego w jednej z trzech wymienionych wcześniej pozycji. Dla maksymalnej (minimalnej) wysokości sekcji zabezpiecza się ją przed ewentualnym wywrotem lub zsunięciem podczas zmiany kąta nachylenia spągu stanowiska poprzez jego obrót. Spąg stanowiska badawczego jest obracany do momentu oderwania się spągnicy obudowy od spągu. Kąt utraty stateczności sekcji odczytuje się na wskaźniku cyfrowym pulpitu sterowniczego i na kątomierzu przykładanym do blachy spągowej stanowiska.

Powyższe czynności wykonuje się dla wszystkich ustawień sekcji obudowy.



Rys. 3.3. Widok ogólny sekcji obudowy podczas badań stateczności względem jej osi poprzecznej, po wzniosie [31]



Rys. 3.4. Widok ogólny sekcji obudowy podczas badań stateczności względem jej osi poprzecznej, po upadzie [31]

Badanie współpracy trzech sekcji obudowy na nachyleniach wykonuje się w przypadku przeznaczenia sekcji obudowy do pracy w wyrobiskach eksploatacyjnych o nachyleniu podłużnym większym niż 30° . W Laboratorium Badań KOMAG-u przeprowadzono, między innymi, badania sekcji obudowy F-15/31-POz/ESP w stanowisku nachylonym pod kątem 45° w zakresie próby przesuwania sekcji obudowy oraz badania siłowników układu korekcji osłon bocznych i urządzenia korekcji spągnic.

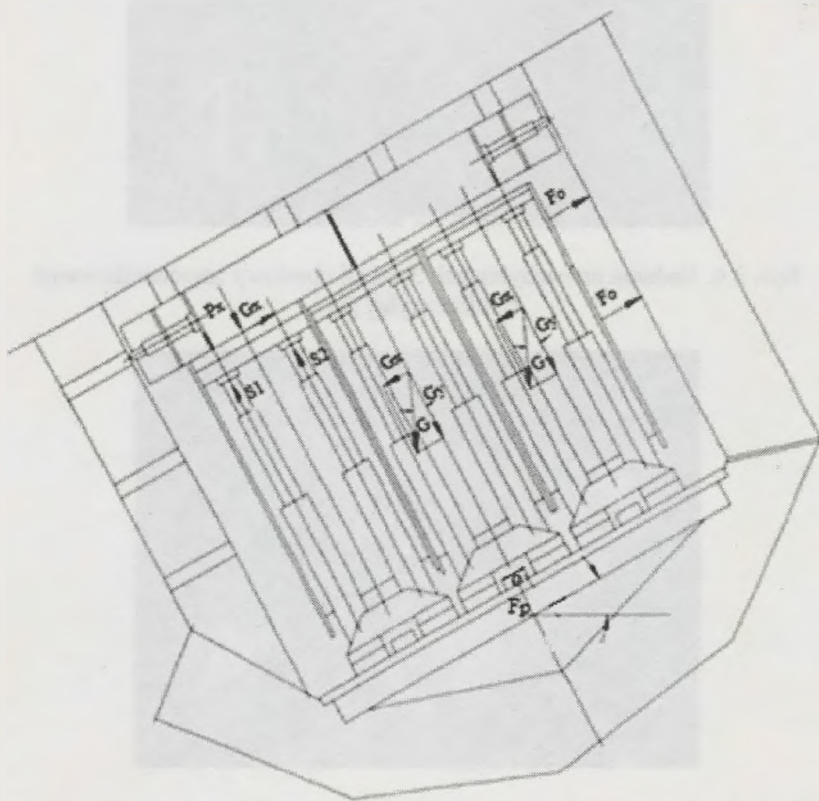
Próba przesuwania sekcji polega na sprawdzeniu możliwości przesuwania sekcji obciążonej dodatkowo poziomą siłą składową ciężaru trzech sekcji obudowy. W celu realizacji tej próby ustawia się w stanowisku trzy sekcje obudowy i rozpiera sekcję dolną przy pozostałych dwóch zrabowanych, a następnie obraca spąg stanowiska o wymagany kąt. W pochylonym stanowisku, układ przesuwny sekcji środkowej jest obciążony ciężarem dwóch sekcji (ciężaru własnego i sekcji górnej). W celu obciążenia belki układu przesuwego środkowej sekcji wymaganą siłą składową poziomą wynikającą z ciężaru trzech sekcji, górną sekcję obudowy obciąża się dodatkowo siłą zewnętrzną F_0 zgodnie z rysunkiem 3.5. Zasilając przesuwnik układu przesuwego dokonuje się przesuwu środkowej sekcji obudowy. Próbę powtarza się trzykrotnie [9].

Badanie siłowników korekcyjnych polega na sprawdzeniu możliwości przesunięcia trzech nadległych sekcji za pomocą siłowników korekcyjnych dolnej rozpartej sekcji. W celu realizacji tego badania ustawia się w stanowisku

trzy sekcje obudowy i rozpira sekcję dolną przy pozostałych dwóch zrabowanych, a następnie obraca spąg stanowiska o wymagany kąt.

W celu dociążenia siłowników układu korekcji dolnej sekcji, do wymaganej wartości siły składowej poziomej wynikającej z ciężaru trzech sekcji, górną sekcję obudowy obciąża się dodatkowo siłą zewnętrzną F_o zgodnie z rysunkiem 3.5. Zasilając siłowniki układu korekcji dolnej sekcji dokonuje się próby przesunięcia górnych sekcji obudowy. Próbę powtarza się trzykrotnie [9].

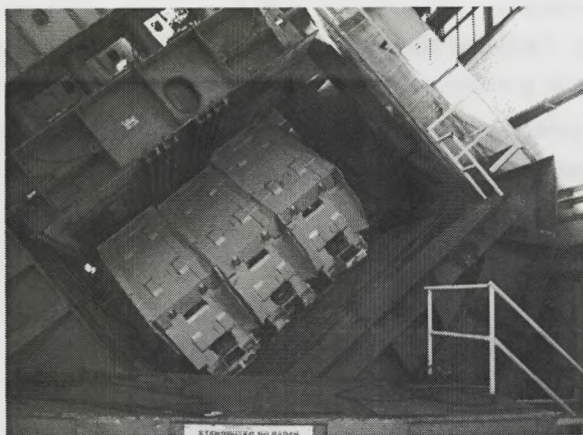
W trakcie prób rejestruje się ciśnienie w przestrzeni podtłokowej siłownika układu przesuwnego oraz w siłownikach korekcyjnych.



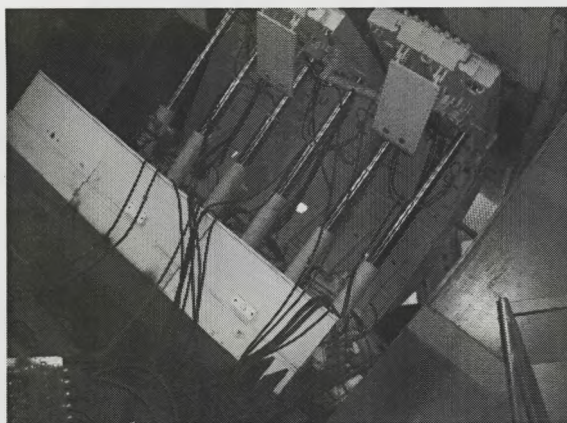
Rys. 3.5. Rozkład sił podczas badania sekcji obudowy na nachyleniach [17]:

F_o – siła zewnętrzna wywołana rozparciem siłownika osłony bocznej stropnicy sekcji górnej o stanowisko, F_p – siła pochodząca od siłownika układu przesuwnego, P_x – siła nacisku od stropu stanowiska, G – siła pochodząca od ciężaru sekcji i jej składowe G_x i G_y , S_1 , S_2 - siły oddziaływania stojaków

Widok trzech sekcji obudowy umieszczonych w stanowisku w celu wykonania badań ich współpracy na nachyleniach przedstawiono na rysunkach 3.6 i 3.7.



Rys. 3.6. Badania na nachyleniach 3 sekcji obudowy zmechanizowanej (widok z tyłu) [31]



Rys. 3.7. Badania na nachyleniach 3 sekcji obudowy zmechanizowanej (widok z przodu) [31]

3.1.2. Próby obciążenia sekcji

Ze względu na przebieg czasowy obciążenia sekcji wyróżnia się dwa rodzaje badań: badania przy obciążeniu statycznym i próby zmęczeniowe.

Badania przy obciążeniu statycznym sekcji obudowy przeprowadza się dla różnych wariantów podparcia. Podczas realizacji obciążeń symetrycznych

podstawowych elementów sekcji obudowy stosuje się współczynnik przeciążenia $p/p_N=1,2$, natomiast dla obciążeń asymetrycznych $p/p_N=1,05$.

Obciążenie sekcji obudowy rozpartej w stanowisku badawczym uzyskuje się poprzez zasilanie przestrzeni podtłokowych stojaków i podpory stropnicy ciśnieniem cieczy, bądź poprzez wywołanie aktywnego działania stropu stanowiska.

Cykliczne próby zmęczeniowe sekcji przeprowadza się także dla różnych wariantów podparcia, przy obciążeniu przestrzeni podtłokowych stojaków i nadłokowej podpory stropnicy ciśnieniem cieczy w zakresie od $0,25 p_N$ do $1,05 p_N$.

Dla sekcji dwustojakowych liczba wymaganych cykli obciążenia to 26 000, a dla sekcji czterestojakowych 30 000.

Program badań obejmuje próby:

- zginania,
- skręcania,
- przy obciążeniu asymetrycznym,
- z poziomym obciążeniem sekcji obudowy osłonowej – pozioma siła działająca na stropnicę wynosi 0,3-krotności siły pionowej.

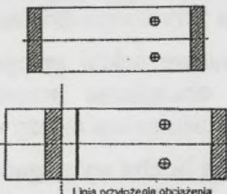
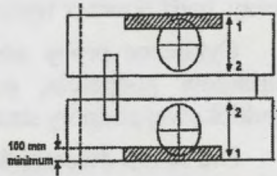
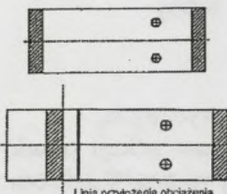
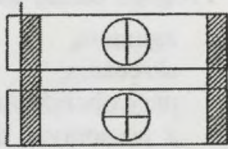
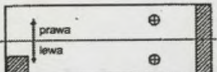
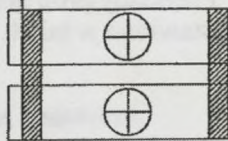
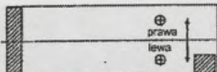
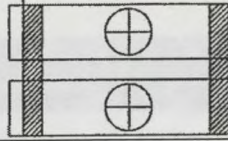
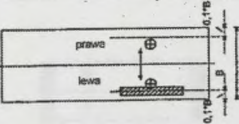
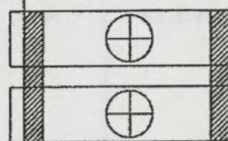
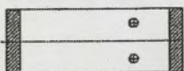
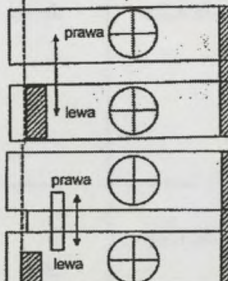
Przykłady prób obciążenia sekcji obudowy dwustojakowej wg PN-EN 1804-1 przedstawiono w tabeli 3.2.

**Przykłady prób obciążenia sekcji obudowy dwustojakowej
wg PN-EN 1804-1 [21]**

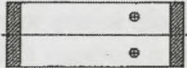
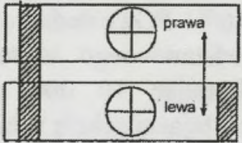
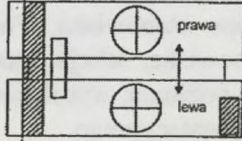
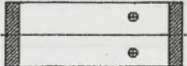
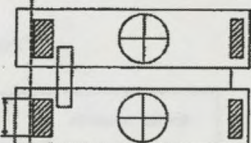
Tabela 3.2

Sposób podparcia		Schemat podparcia	
Stropnica	Spągница	Stropnica	Spągница
A.1.1a	A.6c		
A.1.2a	A.6d		
A.1.1a	A.9		
A.1.2a			

c.d. tabeli 3.2

Sposób podparcia		Schemat podparcia	
Stropnica	Spągnica	Stropnica	Spągnica
A.1.1a A.1.2a	A.10	 Linia przyłożenia obciążenia	 100 mm minimum
A.1.1a A.1.2a	A.2a	 Linia przyłożenia obciążenia	
A.3a	A.2.a	 prawa lewa	
A.3b	A.2a	 prawa lewa	
A.5b	—	 B - szerokość stropnicy	
—	A.4a A.4c		 prawa lewa

c.d. tabeli 3.2

Sposób podparcia		Schemat podparcia	
Stropnica	Spagnica	Stropnica	Spagnica
—	A.4b		
	A.4d		
—	A.8		

Objaśnienie:

„–, w normie PN - EN 1804-1 nie narzucono przedstawionego sposobu podparcia elementu

Przykładowe programy badań wytrzymałości statycznej i wytrzymałości zmęczeniowej sekcji liniowej obudowy H-16/41-POz przedstawiono w tabeli 3.3 i 3.4.

Program badań wytrzymałości statycznej [32]

Tabela 3.3

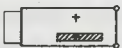
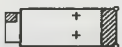
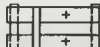
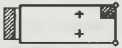
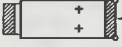
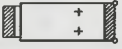
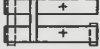
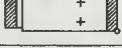
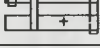
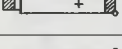
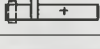
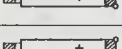
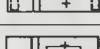
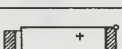
Sposób podparcia		Schemat podparcia		Numery punktów pomiarowych	Obciążenie p/P _n	Wysokość rozparcia zestawu w m
Stropnica	Spąggnica	Stropnica	Spąggnica			
HYDROMEL-16/41-P0z - sekcja liniowa						
A.1.1a	A.2a			50-52 55	1,2	3,5
A.1.1b	A.2a			50,51 55	1,2	3,5
A.1.1a	A.8			50-52 55	1,2	3,5
A.1.1a	A.10z			51,52,53 55	1,2	3,5
A.1.1a	A.10w			51,52,53 55	1,2	3,5
STRWYS	A.2a			50,51,54 55	1,0	3,5
wg.pkt.A.1.2.4				50,51 55,58 59	1,0	3,67-3,55 3,04-2,92 2,44-2,32

Specyficznym rodzajem prób ujętych w normie PN-EN 1804-1 są badania sekcji obudowy obciążonej dodatkową siłą poziomą

Badania wytrzymałości zmęczeniowej przykładowej sekcji obudowy H-16/41-POz z dodatkową siłą poziomą przeprowadzono wg schematu podparcia przedstawionego w tabelach 3.2 i 3.3 jako wariant podparcia 1.1a-A.6d wykonując 10 000 cykli obciążenia. Wymuszenie stałej siły poziomej obciążającej sekcję w kierunku czoła ściany uzyskano przez zasilanie przestrzeni podłokowych dwóch siłowników o średnicy tłoka 160 mm, przymocowanych do stropu stanowiska. Podczas zsuwu sekcji wymuszonego działaniem stropu stanowiska, sekcja zgodnie z wymaganiami normy, obciążona jest dodatkową siłą poziomą, wynikającą z tarcia między stropnicą sekcji a stropem wyrobiska eksploatacyjnego.

Program badań wytrzymałości zmęczeniowej [32]

Tabela 3.4

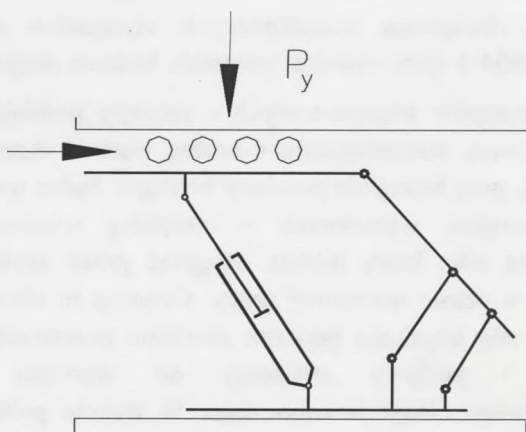
Sposób podparcia		Schemat podparcia		Wysokość rozparcia zestawu w m	Zakres obciążeń P/P_h	Liczba cykli
Stropnica	Spąggnica	Stropnica	Spąggnica			
HYDROMEL-16/41-POz – sekcja liniowa						
A.5b	0			2,3	0,25–1,05	2000
A.3a	A.2a			3,5	0,25–1,05	2000
A.3b	A.2a			3,5	0,25–1,05	2000
A1.1a	A.6d			3,5	0,25–1,05	10000
A1.1a	A.4d			3,5	0,25–1,05	1000
A.1.1a	A.4c			3,5	0,25–1,05	1000
A.1.1a	A.9			3,5	0,25–1,05	2000
A1.1a	A.8			3,5	0,25–1,05	2000
A1.1a	A.10w			3,5	0,25–1,05	1000
A1.1a	A.10z			3,5	0,25–1,05	1000
A1.1b	A.2a			3,5	0,25–1,05	2000

Próba ta polega na wykonaniu zsuwu sekcji, przy działaniu siły nominalnej. Wykonuje się ją dla trzech wysokości sekcji, odpowiadających górnemu, środkowemu i dolnemu zakresowi wysokości jej stosowania. Droga zsuwu, w każdej z wykonanych serii pomiarowych, powinna wynosić co najmniej 100 mm, przy jej maksymalnej prędkości wynoszącej 100 mm/min. Zgodnie z powyższym zsuw przykładowej sekcji obudowy H-16/41-POz wykonano dla trzech zakresów wysokości obejmujących (tab. 3.4):

- górny zakres wysokości od 3,67 m do 3,55 m,
- środkowy zakres wysokości od 3,04 m do 2,92 m,
- dolny zakres wysokości od 2,44 m do 2,32 m.

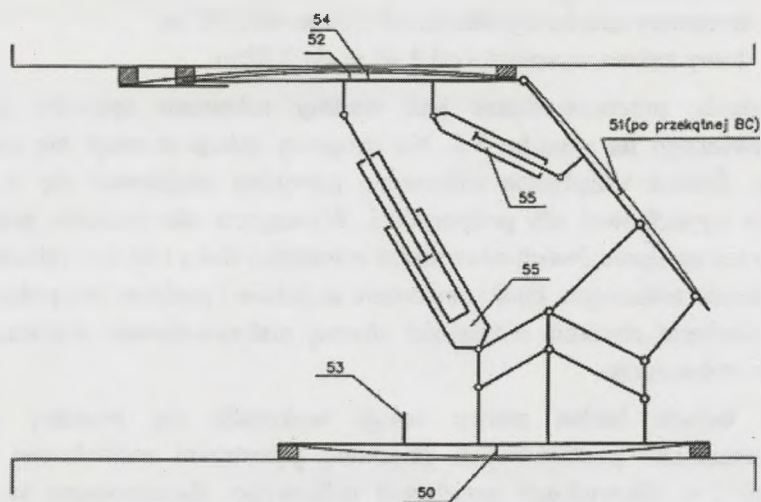
Badanie przeprowadzane jest według schematu sposobu podparcia przedstawionego na rysunku 3.8. Na stropnicy sekcji montuje się urządzenie rolkowe. Środek urządzenia rolkowego powinien znajdować się w miejscu działania wypadkowej siły podporności. Wymagana siła pozioma generowana jest poprzez zasilanie dwóch siłowników o średnicy tłoka 140 mm zabudowanych w urządzeniu rolkowym. Bloki zaworowe stojaków i podpory stropnicy ustawia się na ciśnienie otwarcia o wartości równej maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu roboczemu.

W trakcie badań zsuwu sekcji wykonuje się pomiary ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków, przestrzeni nadtłokowej podpory stropnicy i w siłownikach urządzenia rolkowego. Rejestrowane są również zmiany wysokości sekcji.



Rys.3.8. Sposób obciążenia badanej sekcji obudowy podczas jej zsuwu

W trakcie badań wytrzymałościowych sekcji wykonuje się pomiary strzałki ugięcia spągnicy, osłony odzawałowej i stropnicy oraz ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaków i przestrzeni nadtłokowej podpory stropnicy. W zależności od życzenia zleceniodawcy badań, w wybranych punktach elementów sekcji wykonuje się pomiary wydłużeń względnych za pomocą tensometrów oporowych. Metodę tensometryczną w pomiarach odkształceń elementów sekcji opisano w pkt. 2.1 i 2.1.1. Rozmieszczenie punktów pomiaru ciśnienia i strzałek ugięcia przedstawiono na rysunku 3.9.



Rys. 3.9. Rozmieszczenie punktów pomiaru ciśnienia i strzałek ugięcia [32]

Oprócz prób obciążenia podstawowych elementów sekcji obudowy w normie PN-EN 1804-1 ujęto również pozostałe badania obejmujące:

- badanie zaczepów transportowych - zaczepy poddaje się obciążeniu rozciągającemu, stanowiącemu 4-krotną wartość oznaczonej nośności nominalnej, przy której nie powinny wystąpić żadne uszkodzenia,
- badanie stropnic wysuwnych – stropnicę wysuwną obciąża się maksymalną siłą, którą można osiągnąć przez zasilanie elementów hydrauliki w czasie normalnej pracy. Oznacza to obciążenie stropnicy wysuwnej siłą uzyskaną poprzez zasilanie przestrzeni podtłokowych stojaków i podpory stropnicy do wartości maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego. W trakcie próby stropnica jest całkowicie wysunięta i podparta na końcu,
- badanie układu przesuwne - w trakcie badań belka układu przesuwne jest mocowana do stanowiska badawczego i po wstępnym rozparciu sekcji poddana obciążeniu na ściskanie i rozciąganie przez

zasilanie kolejno przestrzeni podtłokowej, a następnie nadtłokowej przesuwnika sekcji do wartości ciśnienia o współczynniku przeciążenia $p/p_n = 1.2$,

- Podczas badania na zginanie belka układu przesuwnego podparta na końcach, obciążana jest w połowie swej długości przez siłownik podnoszenia spągnic zasilany ciśnieniem przy współczynniku przeciążenia 1,2,
- badanie elementów mocowania stojaków i siłowników z siłą równą 1,5-krotności nominalnej siły rozciągającej i ściskającej, w najbardziej niekorzystnym położeniu.

3.1.3. Ocena wyników badań

Po zakończeniu prób dokonuje się oceny wyników badań. Nie powinno być pęknięć w materiale rodzimym żadnego z elementów sekcji obudowy. Nie dopuszcza się również występowania pęknięć w spoinach, ani odkształceń trwałych, obniżających parametry techniczne sekcji obudowy.

Dla oceny ostatecznych deformacji plastycznych poszczególnych elementów sekcji obudowy, takich jak spągnica, osłona odzawałowa i stropnica, powstałych w trakcie badań obciążeniowych Laboratorium Badań stosuje procedurę pomiarów płaskości płaszczyzn tych elementów przed rozpoczęciem cyklu badań obciążeniowych oraz po ich zakończeniu.

Do pomiarów płaskości płaszczyzn elementów sekcji (rys. 3.10) stosuje się:

- łatę pomiarową (1),
- dwie podpory stałe (2) o wysokości 50 mm,
- podporę pomiarową z głębokościomierzem (3).

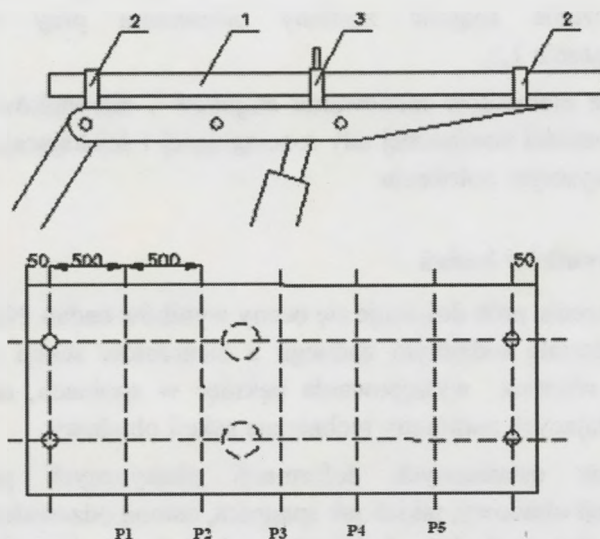
Przykład doboru przyrządów pomiarowych oraz sposób rozmieszczenia punktów pomiarowych na stropnicy przedstawiono na rysunku 3.10.

Przed rozpoczęciem pomiarów ustala się i trwale oznacza miejsca ustawienia podpór stałych oraz punktów pomiarowych. Podpory stałe ustawia się w odległości 50 mm lub 100 mm od krawędzi mierzonego elementu.

Punkty pomiarowe P1 ÷ P5 wyznacza się wzdłuż prostych przechodzących przez osie gniazd podpór hydraulicznych.

Przykładowe wyniki pomiaru deformacji plastycznych na stropnicy i osłonie odzawałowej sekcji obudowy H-16/41-POz przedstawiono w tabeli 3.5 i 3.6.

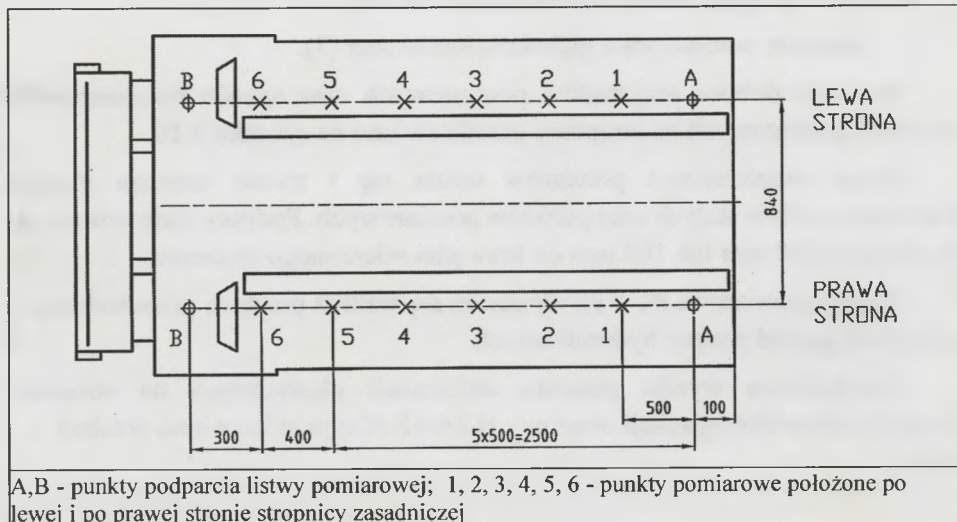
Uzupełnieniem kompleksowych badań sekcji obudowy zmechanizowanej wg wymagań norm zharmonizowanych serii PN-EN 1804 są badania siłowników hydraulicznych i zaworów hydraulicznych. Wymagania i stosowane procedury badawcze przedstawiono w rozdziałach 3.2 i 3.3.



Rys. 3.10. Przykład doboru przyrządów pomiarowych i rozmieszczenia punktów pomiarowych na stropnicy [26]: 1 – łąta pomiarowa, 2 – podpory stałe, 3 – podpora pomiarowa z głębokościomierzem, P1 ÷ P5 – punkty pomiarowe

Wyniki pomiarów odkształceń trwałych stropnicy [32]

Tabela 3.5

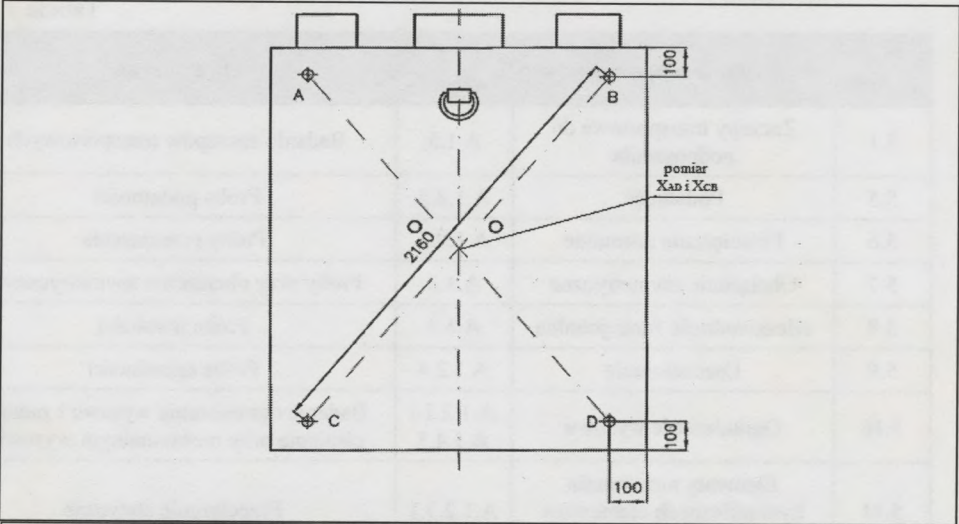


cd. tabeli 3.5.

Nr pkt.	Wyniki pomiarów [mm]				Obliczone wartości ugięć trwałych Δ [mm]	
	Lewa strona stropnicy		Prawa strona stropnicy		Lewa strona stropnicy	Prawa strona stropnicy
	Przed badaniami	Po badaniach	Przed badaniami	Po badaniach		
1	-0,1	+0,5	+0,3	+0,7	+0,6	+0,4
2	+0,4	+0,8	+1,3	+1,9	+0,4	+0,6
3	-0,6	-0,2	+0,4	+0,8	+0,4	+0,4
4	+0,8	+1,2	+2,5	+2,7	+0,4	+0,2
5	-2,1	-1,6	-1,0	-0,5	+0,5	+0,5
6	-2,6	-2,4	-1,2	-0,9	+0,2	+0,3

UWAGA: $\Delta > 0$ - ugięcie w górę $\Delta < 0$ – ugięcie w dół

Wyniki pomiarów odkształceń trwałych osłony odzawalowej [32]
Tabela 3.6



A,B,C,D - punkty podparcia listwy pomiarowej
 X_{AD} , X_{CB} - punkt pomiarowy na osłonie odzawalowej

Nr pkt.	Wyniki pomiarów [mm]		Obliczone wartości ugięć trwałych Δ [mm]
	Przed badaniami	Po badaniach	
X_{AD}	0,0	-0,3	-0,3
X_{CB}	+5,8	+6,5	+0,7

Uwaga: $\Delta > 0$ – ugięcie w górę $\Delta < 0$ – ugięcie w dół

3.2. Badania siłowników hydraulicznych

W normie PN-EN 1804-2+A1:2012 [22] zdefiniowano siłownik hydrauliczny jako rodzaj urządzenia hydraulicznego, wykonującego ruch posuwisto-zwrotny. Spośród siłowników hydraulicznych stosowanych w górniczej obudowie zmechanizowanej wyróżnia się stojaki, podpory oraz siłowniki pomocnicze.

Stojaki i podpory są to siłowniki hydrauliczne umożliwiające uzyskanie podporności sekcji obudowy, natomiast mianem „siłowniki pomocnicze” określa się grupę siłowników hydraulicznych, które nie przenoszą obciążenia wywołanego naciskiem skał stropowych, ale które są niezbędne do funkcjonowania sekcji obudowy zmechanizowanej.

W tabeli 3.7 przedstawiono wykaz badań stanowiskowych niezbędnych do sprawdzenia wymagań bezpieczeństwa siłowników hydraulicznych.

Badania stanowiskowe siłowników w celu sprawdzenia wymagań bezpieczeństwa

Tabela 3.7

Pkt. normy	Wymagania bezpieczeństwa	Pkt. normy	Sprawdzenie
5.1	Zaczepy transportowe do podnoszenia	A.1.5	Badanie zaczepów transportowych
5.5	Podatność	A.1.2.2	Próba podatności
5.6	Przeciążenie normalne	A.1.2.3	Próby przeciążenia
5.7	Obciążenie asymetryczne	A.1.3	Próby przy obciążeniu asymetrycznym
5.8	Niezawodność funkcjonalna	A.1.4	Próba trwałości
5.9	Uszczelnianie	A.1.2.4	Próba szczelności
5.10	Ograniczenie wysuwu	A.1.2.1 i A.1.4.3	Badanie ograniczenia wysuwu i zadanie ciśnienia przy maksymalnym wysuwie
5.11	Elementy mocowania hydraulicznych elementów wykonawczych	A.1.2.3.1	Przeciążenie statyczne

Typowy program badań siłowników hydraulicznych przedstawiono w tabeli 3.8.

Program badań siłowników hydraulicznych

Tabela 3.8

Lp. Rodzaj badania – pkt normy PN-EN 1804-2+A1:2012		Próby dla			
		Stojaka hydr.	Podpory stropnicy	Siłownika pomocnicze	
1.	Badanie ogranicznika wysuwu wg pkt. A.1.2.1	nie obciążony zewnątrznie – 1,0pN	+	+	+
2.		siła rozciągająca - 1,5 FN	-	+	-
3.	Podatność wg pkt. A.1.2.2 i A.1.3.3	obciążeniu asymetryczne	+	+	-
4.		obciążenie asymetryczne – przejście przez stopnie	+	-	-
5.		obciążenie osiowe	+	+	-
6.		obciążenie osiowe – przejście przez stopnie	+	-	-
7.		próby wysuwania	-	+	-
8.	Przeciążenie statyczne wg pkt.A.1.2.3.1	obciążenie ściskające - 1,5pN	+	+	+
9.		obciążenie rozciągające - 1,5pN	+	-	+
10.		obciążenie ściskające - 2,0pN	+	+	-
11.		obciążenie rozciągające - 2,0pN	-	+	-
12.		siła ściskająca - 2,0FN	+	+	-
13.	Przeciążenie dynamiczne wg PB-DLB2/01	obciążenie ściskające - 1,5pN 2 próby	+	-	-
14.	Próba szczelności wg pkt. A.1.2.4	wg parametrów w próbach przeciążenia statycznego (l.p. 8÷11)	+	+	+
15.	Próba na zginanie wg pkt.A.1.3.2	(obciążenie asymetryczne)	+	+	-
16.	Trwałość wg pkt. A.1.4.1, A.1.4.2, A.1.4.3 i A.1.4.4	obciążenie osiowe –15000 cykli	+	-	-
17.		obciążenie rozciągające – 15000 cykli	-	+	-
18.		obciążenie asymetryczne - 6000 cykli	+	-	-
19.		obciążenie rozciągające - 6000 cykli	-	+	-
20.		przy maksymalnym wysuwie	+	+	-
21.	Funkcjonalność wg pkt.A.1.4.5	szczelność (obciążenie ściskające) – 1,0pN	+	+	-
22.		wysuw	+	+	-
23.		podatność	+	+	-
24.	Badanie zaczepów transportowych wg pkt.A.1.5	obciążenie rozciągające – 4 FN	+	+	+

3.2.1. Badania przy symetrycznym obciążeniu osiowym

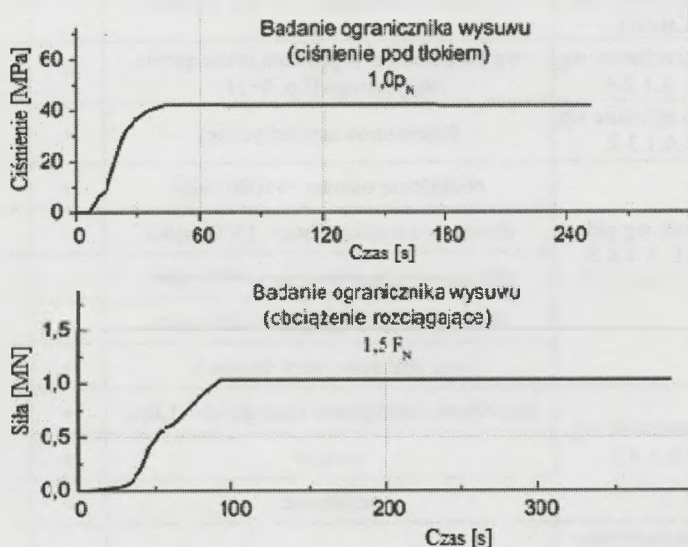
Symetryczne obciążenie osiowe stosowane jest w większości prób weryfikujących podstawowe cechy siłownika hydraulicznego, takich jak: badanie ogranicznika wysuwu, próby podatności, próby przeciążenia statycznego i dynamicznego czy próba szczelności. Poniżej przedstawiono informacje odnośnie do stosowanych procedur badawczych.

Badanie ogranicznika wysuwu [22]

Badanie ogranicznika wysuwu siłownika przeprowadza się na elemencie swobodnie leżącym, maksymalnie wysuniętym. W przestrzeni podłokowej siłownika zadaje się ciśnienie o wartości równej maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu roboczemu i pozostawia w tym położeniu przez co najmniej 3 minuty.

W podporze, która w czasie pracy jest poddawana obciążeniu rozciągającemu, badanie ogranicznika wysuwu polega na maksymalnym wysunięciu podpory za pomocą siły zewnętrznej o wartości równej 1,5-krotnej nominalnej siły rozciągającej i pozostawieniu jej w tej pozycji przez co najmniej 3 minuty.

W trakcie próby rejestruje się przebieg czasowy ciśnienia lub siły. Przykładowe wykresy przebiegów ciśnienia i siły podczas badania ogranicznika wysuwu podpory stropnicy $\phi 200/140 \times 465$ przedstawiono na rysunku 3.11.



Rys. 3.11. Podpora stropnicy $\phi 200/140 \times 465$. Badanie ogranicznika wysuwu [33]

Próba podatności [22]

Siłownik, po odpowietrzeniu, rozpiera się w stanowisku badawczym na maksymalną długość wywołując obciążenie o wartości około 10% siły nominalnej badanego siłownika. Przyłączone zawory ograniczające ciśnienie nastawia się na maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze siłownika. Przeprowadza się dwie próby zsuwania, począwszy od maksymalnego wysuwu, kolejno w warunkach scharakteryzowanych następującymi drogami i prędkościami zsuwu:

- 100 mm zsuwu przy prędkości (10 ± 2) mm/min,
- 20 mm zsuwu przy prędkości (2 ± 1) mm/min.

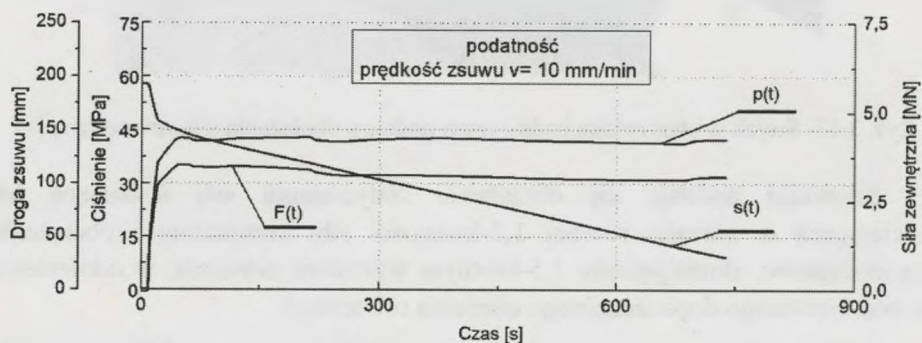
W przypadku siłowników wielostopniowych przy przechodzeniu przez kolejne stopnie, przeprowadza się dodatkowe próby podatności, na drodze zsuwu 100 mm i prędkości zsuwu (10 ± 2) mm/min.

W przypadku podpór, które są poddane w czasie pracy obciążeniu rozciągającemu wyżej przedstawione próby przeprowadza się również jako próby wysuwania rdzennika.

W trakcie próby rejestruje się przebieg obciążenia i ciśnienia wewnętrznego oraz drogi zsuwu w funkcji czasu.

Mierzone wartości siły podatności lub rozciągania powinny mieścić się w przedziale $+ 10\%$, $- 0\%$ wartości siły nominalnej stojaków albo podpór.

Przykładowe wykresy zarejestrowane podczas próby podatności stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym ϕ 320/305/220/210x2390 przy obciążeniu osiowym przedstawiono na rysunku 3.12.



Rys. 3.12. Stojak ϕ 320/305/220/210x2390. Próba podatności przy obciążeniu osiowym [37]: s – droga zsuwu, p – ciśnienie, F – siła zewnętrzna, t – czas

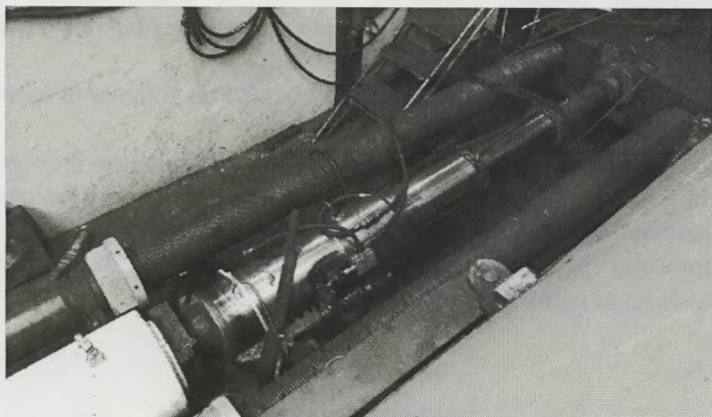
Próba przeciążenia statycznego [22]

Próbie przeprowadza się przy zastosowaniu jednej z metod:

- a) siłownik z przedłużaczem mechanicznym (jeśli jest przewidziany), po odpowietrzeniu, rozpiera się w stanowisku badawczym na maksymalną długość, przy ciśnieniu wynoszącym 80% maksymalnego ciśnienia

roboczego. Następnie odcina się zasilanie i siłownik obciąża się zewnętrzną siłą (rys. 3.13) równą 2-krotnej lub 1,5-krotnej wartości siły nominalnej. Siłę zewnętrzną uzyskuje się przez zadanie ciśnienia cieczy do przestrzeni siłowników stanowiska badawczego. Siłę tę utrzymuje się w celu przeprowadzenia próby szczelności,

- b) siłownik z przedłużaczem mechanicznym (jeśli jest przewidziany), po odpowietrzeniu, rozpiera się w stanowisku badawczym na długość równą $(95 \pm 3) \%$ maksymalnej długości. Następnie zadaje się ciśnienie cieczy do przestrzeni podtłokowej do 2-krotnej lub 1,5-krotnej wartości maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego. Następnie odcina się zasilanie i przeprowadza próbę szczelności.



Rys. 3.13. Stojak w stanowisku badawczym podczas obciążania siłą zewnętrzną [1]

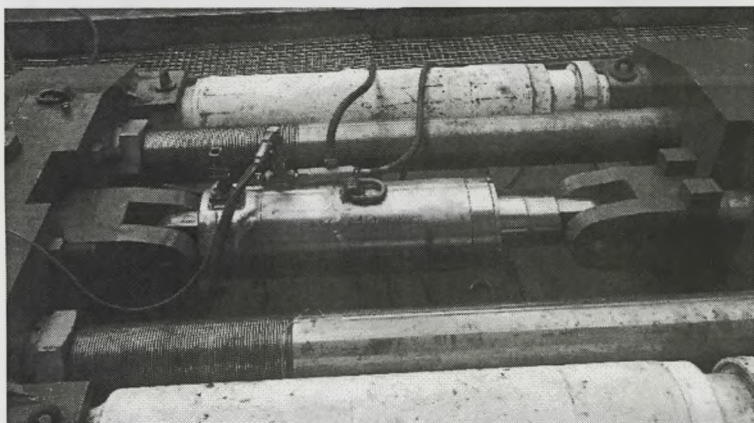
Siłowniki poddaje się obciążeniu statycznemu siłą ściskającą lub rozciągającą o wartości równej 1,5-krotności siły nominalnej i obciążeniu dynamicznemu, skutkującemu 1,5-krotnym wzrostem ciśnienia, w odniesieniu do maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego.

W przypadku braku możliwości realizacji obciążenia dynamicznego, stojaki i podpory poddaje się obciążeniu statycznemu o wartości dwukrotnej siły nominalnej ściskającej lub rozciągającej.

Siłowniki pomocnicze, wraz z przedłużaczami mechanicznymi, poddaje się statycznie obciążeniu o wartości równej 1,5-krotności siły nominalnej ściskającej lub rozciągającej.

W przypadku siłowników, które są poddawane obciążeniu rozciągającemu, próby przeprowadza się metodami a) i b) opisanymi powyżej, lecz przy

minimalnym wysuwie i przy obciążeniu przestrzeni nadłokowej. Siłownik, w celu obciążenia go siłą rozciągającą, mocuje się w stanowisku badawczym za pomocą sworzni (rys. 3.14).



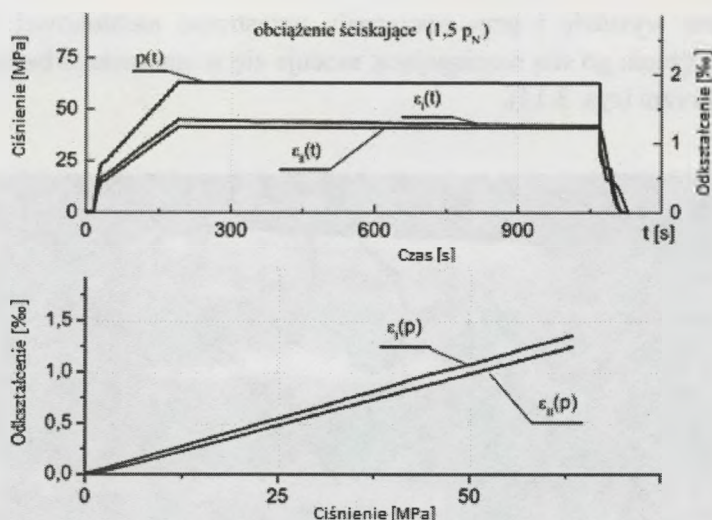
Rys. 3.14. Podpora stropnicy $\phi 200/140 \times 465$ zabudowana w stanowisku badawczym [1]

Dodatkowo, przeprowadza się próbę ze stojakami i podporami maksymalnie wsuniętymi. Poddaje się je obciążeniu zewnętrznemu o wartości równej 2-krotnej siły nominalnej. Siłę zewnętrzną uzyskuje się przez zadanie ciśnienia cieczy do przestrzeni siłowników stanowiska badawczego. Siłę tę utrzymuje się przynajmniej przez 3 minuty.

W trakcie prób rejestruje się przebieg obciążenia i ciśnienia wewnętrznego oraz obwodowe wydłużenie względne cylindra w funkcji czasu.

Trwałe względne odkształcenie cylindrów nie powinno przekraczać 0,02% średnicy cylindra i powinna być zachowana szczelność.

Przykładowe wykresy z próby przeciążenia statycznego stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym $\phi 320/305/220/210 \times 2390$ przedstawiono na rysunku 3.15. W trakcie próby mierzono ciśnienie w przestrzeni podłokowej I stopnia stojaka hydraulicznego oraz wydłużenia względne rury spodnika i rdzennika zewnętrznego. Obciążenie równe 1,5-krotnemu maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu robocznemu utrzymywano przez 11 minut.



Rys. 3.15. Stojak ϕ 320/305/220/210x2390. Próba przeciążenia statycznego – $1,5 p_N$ [37]: ε_l , ε_n – obwodowe wydłużenia względne rury spodnika i rdzennika zewnętrznego, p – ciśnienie, t – czas

Próba przeciążenia dynamicznego [22]

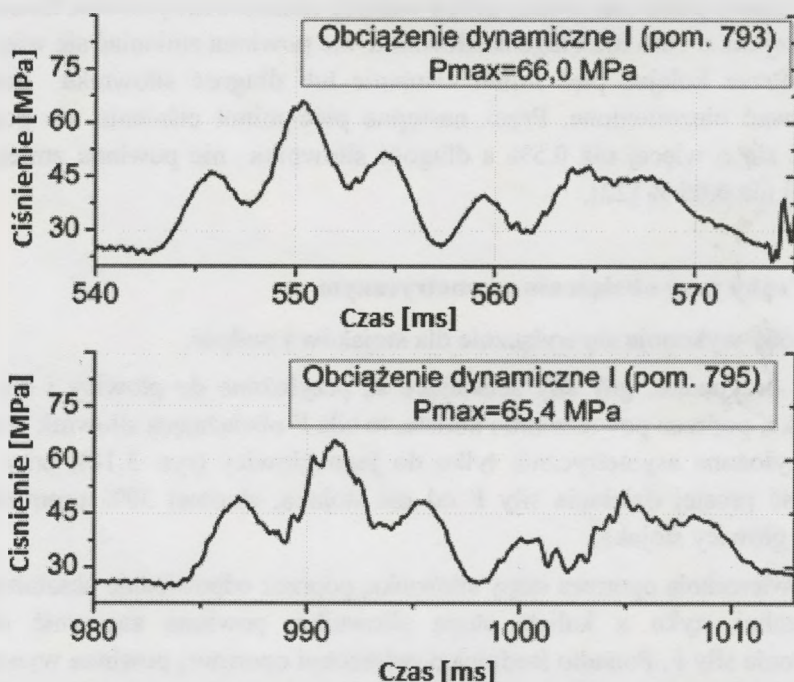
Stojak, po odpowietrzeniu, rozpiera się w stanowisku badawczym na długość od 70 do 80 % jego długości maksymalnej, ale przy zapasie wysuwu wynoszącym nie mniej niż 100 mm na każdy stopień. Następnie w przestrzeni podtłokowej podnosi się ciśnienie cieczy do 60% wartości maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego, po czym przestrzeń podtłokową odcina się. Następnie stojak poddaje się dwukrotnemu obciążeniu dynamicznemu. Obciążenie osiowe zadaje się symetrycznie.

Ciśnienie powinno osiągnąć wartość równą 1,5-krotności ($\pm 5\%$) maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego, w czasie do 30 ms.

W trakcie prób rejestruje się przebieg ciśnienia wewnętrznego w funkcji czasu. W przypadku siłowników wielostopniowych rejestruje się ciśnienie w pierwszym stopniu.

Po badaniach powinna być zachowana funkcjonalność siłownika.

Laboratorium Badań ITG KOMAG do wywołania obciążenia dynamicznego stosuje metodę wybuchową (patrz rozdział 2.3.2). Przykładowe wykresy zarejestrowane podczas prób przeciążenia dynamicznego stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym ϕ 320/305/220/210x2390 przedstawiono na rysunku 3.16. W trakcie próby mierzono ciśnienie w przestrzeni podtłokowej I stopnia stojaka hydraulicznego.

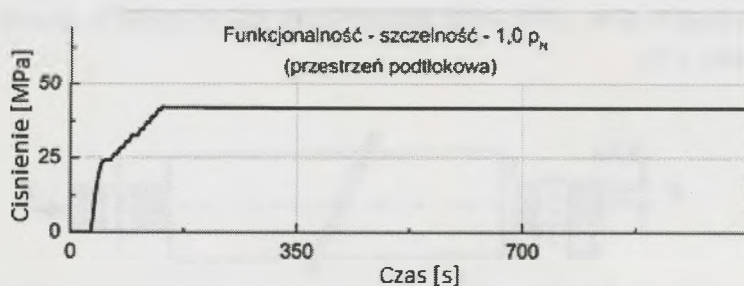


Rys. 3.16. Stojak ϕ 320/305/220/210x2390. Próby przeciążenia dynamicznego [37]

Próba szczelności

W czasie próby szczelności przestrzenie cylindrów hydraulicznych siłowników poddane obciążeniu powinny być odcięte. Ciśnienie lub zsuw siłownika powinny być zarejestrowane i przedstawione w funkcji czasu.

Przykładowy przebieg ciśnienia w czasie podczas próby szczelności stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym 320/305/220/210x2390 przedstawiono na rysunku 3.17.



Rys. 3.17. Stojak 320/305/220/210x2390. Próba szczelności [37]

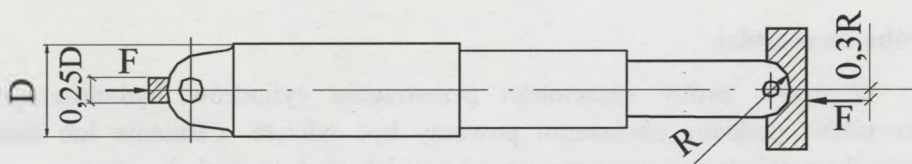
W czasie pierwszej minuty próby wartość ciśnienia nie powinna zmniejszyć się więcej niż o 10% lub długość siłownika nie powinna zmieniać się więcej niż o 1%. Przez kolejne pięć minut ciśnienie lub długość siłownika powinny pozostawać niezmiennione. Przez następne pięć minut ciśnienie nie powinno zmienić się o więcej niż 0,5% a długość siłownika nie powinna zmienić się o więcej niż 0,05 % [22].

3.2.2. Próby przy obciążeniu asymetrycznym

Próby wykonuje się wyłącznie dla stojaków i podpór.

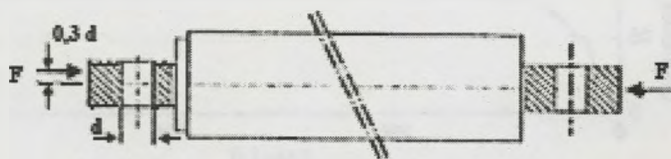
W przypadku, gdy siły ściskające są przyłożone do głowicy i do stopy siłownika, poprzez powierzchnie kuliste, to siła F obciążająca siłownik powinna być przyłożona asymetrycznie tylko do jego głowicy (rys. 3.18), przy czym odległość prostej działania siły F od osi stojaka, stanowi 30% promienia R , kulistej głowicy stojaka.

Powierzchnia oporowa stopy siłownika, poprzez odpowiednie ukształtowanie powierzchni styku z kulistą stopą siłownika, powinna zapewnić osiowe przyłożenie siły F . Ponadto średnica powierzchni oporowej powinna wynosić co najwyżej 25% średnicy siłownika.



Rys. 3.18. Schemat obciążenia asymetrycznego badanego stojaka [22]: F – siła ściskająca, R – promień kulistej głowicy stojaka, D – zewnętrzna średnica stojaka

W przypadku siłowników, które nie są obciążone siłą ściskającą poprzez powierzchnie kuliste, obciążenie asymetryczne należy zadać w sposób pokazany na rysunku 3.19.



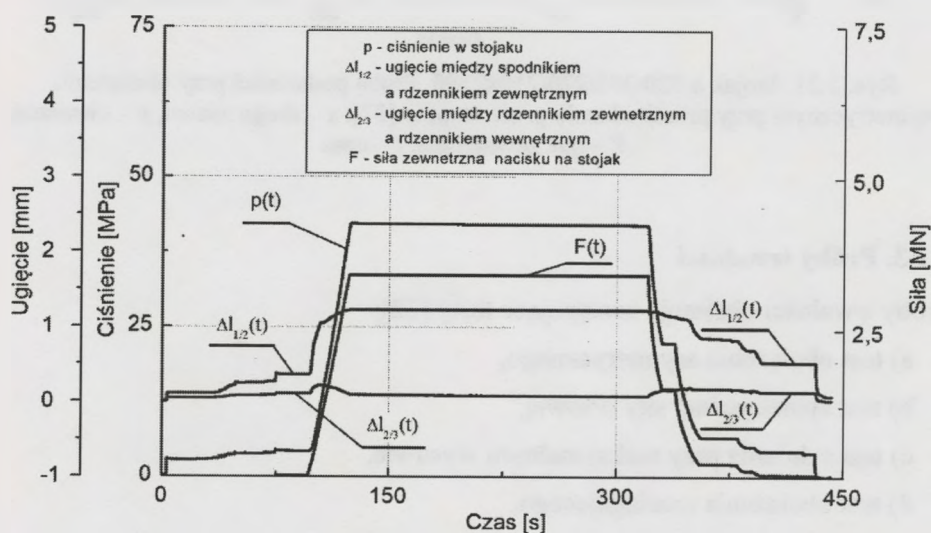
Rys. 3.19. Schemat obciążenia asymetrycznego badanej podpory [22]:
 F – siła ściskająca, d – średnica otworu połączenia sworzniowego

Próba zginania [22]

Próbę wykonuje się na siłownikach maksymalnie rozpartych w stanowisku badawczym siłą wstępną o wartości wynoszącej 10% siły nominalnej. Po rozparciu w stanowisku przestrzeń podtłokową siłownika odcina się i przez 3 minuty poddaje obciążeniu zewnętrznemu siłą równą sile nominalnej. Następnie siłę zmniejsza się do wartości siły wstępnej.

Podczas tej próby dokonuje się pomiaru ugięcia przy połączeniach stopni siłownika. Trwałe ugięcie nie powinno być większe od 0,1% badanej długości siłownika.

Przykładowe wykresy zarejestrowane podczas próby zginania stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym $\phi 320/305/220/210 \times 2390$ przedstawiono na rysunku 3.20.



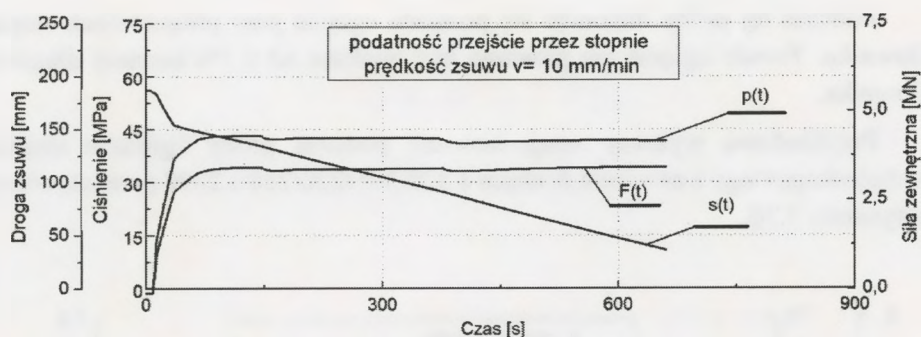
Rys. 3.20. Stojak $\phi 320/305/220/210 \times 2390$. Próba na zginanie [37]

Próba podatności [22]

Próbę podatności przeprowadza się w taki sam sposób, jak próbę w przypadku symetrycznego obciążenia siłownika opisaną wcześniej, przy czym obciążenie zadaje się asymetrycznie. Obciążenia asymetrycznego nie stosuje się przy próbie obciążenia rozciągającego siłownik.

W czasie próby obciążenie zarejestrowane przy zsuwie siłownika nie powinno być większe od obciążenia zarejestrowanego w czasie próby przy zadaniu obciążenia symetrycznego więcej niż o 10%.

Przykładowe wykresy zarejestrowane podczas próby podatności stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym ϕ 320/305/220/210x2390 przy obciążeniu asymetrycznym przedstawiono na rysunku 3.21. W trakcie próby rejestrowano przebiegi obciążenia i ciśnienia wewnętrznego oraz drogi zsuwu w funkcji czasu.



Rys. 3.21. Stojak ϕ 320/305/220/210x2390. Próba podatności przy obciążeniu asymetrycznym przy przechodzeniu przez stopnie [37]: s – droga zsuwu, p – ciśnienie, F – siła zewnętrzna, t – czas

3.2.3. Próby trwałości

Próby trwałości obejmują następujące testy [22]:

- test obciążenia asymetrycznego,
- test symetrycznej siły osiowej,
- test ciśnienia przy maksymalnym wysuwie,
- test obciążenia rozciągającego,
- próbę funkcjonalności.

Test trwałości przy obciążeniu asymetrycznym

Siłownik po odpowietrzeniu, rozsuwa się w stanowisku badawczym do uzyskania $90 \pm 5\%$ hydraulicznego wysuwu. Następnie zadaje się cykliczne obciążenie asymetryczne. Test obejmuje 6 000 cykli obciążenia realizowanego w następujących warunkach:

- asymetria od strony głowicy, wynosi $0,15 R$ (por. rys. 3.18),
- prędkość zsuwu wynosi $100 \text{ mm/min} \pm 10\%$,
- droga zsuwu podczas cyklu obciążeniowego wynosi $50 \text{ mm} \pm 5\%$,

- droga wysuwu podczas cyklu obciążeniowego wynosi $50 \text{ mm} \pm 5\%$,
- ciśnienie w przestrzeni podtłokowej podczas próby: 1,1-krotność ciśnienia roboczego $\pm 5\%$,
- temperatura cieczy hydraulicznej: maksymalnie 50°C .

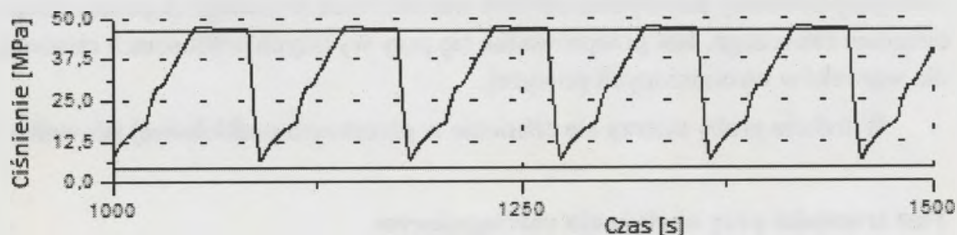
Procedurę przeprowadzenia tego testu można przedstawić następująco:

1. siłownik wysuwa się hydraulicznie do oporu, aż do momentu osiągnięcia 70% do 80% maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego,
2. siłownik obciąża się siłą zewnętrzną w celu uzyskania zsuwu, przy określonym ciśnieniu, drodze i prędkości zsuwu,
3. siłownik rozsuwa się hydraulicznie na określonej drodze,
4. następnie siłownik rozsuwa się hydraulicznie do pozycji wyjściowej.

Do przeprowadzenia próby stosuje się zawór przelewowy w przestrzeni podtłokowej, którego otwarcie ustawia się na 1,1- krotność ciśnienia roboczego $\pm 5\%$.

W trakcie próby mierzy się ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka lub podpory. Prędkość zsuwu określa się przez pomiar drogi w czasie.

Przykładowy wykres przebiegu ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym $\phi 410/380/290/260 \times 2832$ zarejestrowany podczas próby trwałości przy obciążeniu asymetrycznym przedstawiono na rysunku 3.22.



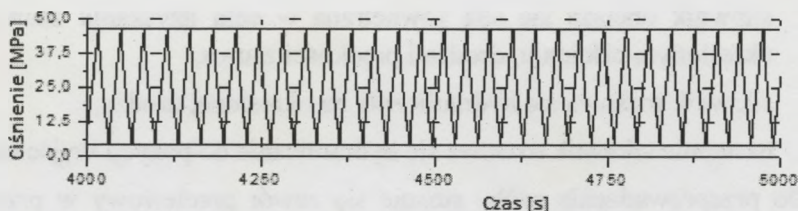
Rys. 3.22. Stojak $\phi 410/380/290/260 \times 2832$. Próba trwałości przy obciążeniu asymetrycznym [34]

Test trwałości przy symetrycznym obciążeniu osiowym

Siłownik po odpowiedzeniu rozsuwa się w stanowisku badawczym do uzyskania $90 \pm 5\%$ hydraulicznego wysuwu.

Na test składa się 15 000 cykli obciążenia przestrzeni podtłokowej siłownika. W czasie każdego cyklu zadaje się ciśnienie w przestrzeni podtłokowej zwiększając jego wartość w przedziale od 0,1- do 1,1-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego.

Przykładowy wykres przebiegu ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym $\phi 410/380/290/260 \times 2832$ zarejestrowany podczas próby trwałości przy obciążeniu osiowym przedstawiono na rysunku 3.23.



Rys. 3.23. Stojak $\phi 410/380/290/260 \times 2832$.
Próba trwałości przy obciążeniu osiowym [34]

Test trwałości przy maksymalnym wysuwie

Siłownik swobodnie leżący rozsuwa się hydraulicznie, maksymalnie do wewnętrznego ogranicznika. Próba składa się ze 100 cykli ciśnieniowych w przestrzeni podtłokowej siłownika.

W czasie każdego cyklu, w przestrzeni podtłokowej zadaje się ciśnienie cieczy w granicach od $15 \pm 5\%$ do $80 \pm 5\%$ maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego. Jeśli ciśnienie wytwarzane przez hydrauliczny układ zasilający obudowy jest wyższe od 80% wartości maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego, test przeprowadza się przy wyższych wartościach ciśnienia dla warunków wymienionych powyżej.

W trakcie próby mierzy się ciśnienie w przestrzeni podtłokowej siłownika.

Test trwałości przy obciążeniu rozciągającym

Program obciążenia podpory, która w czasie pracy jest poddana obciążeniu rozciągającemu, jest identyczny jak w teście trwałości przy obciążeniu asymetrycznym z tym, że w trakcie tego testu obciążenie jest symetryczne.

Podporę, która w czasie pracy poddawana jest obciążeniu rozciągającemu, obciąża się tak jak opisano to przy próbie trwałości przy symetrycznym obciążeniu osiowym. Ciśnienie zadaje się wówczas do przestrzeni nadtłokowej zsuniętej podpory.

Po próbach trwałości przeprowadza się próbę funkcjonalności. Dopiero pozytywny wynik opisanych poniżej prób funkcjonalności traktuje się jako pozytywny wynik prób trwałości siłownika.

Próby funkcjonalności

Na badanie funkcjonalności składają się testy:

- a) podatności, w zakresie całego skoku hydraulicznego, z prędkością 10 ± 2 mm/min.,
- b) wysuwu, w zakresie całego skoku hydraulicznego,
- c) szczelności.

Funkcjonalność - próba podatności

Siłownik, po odpowietrzeniu, rozpiera się na maksymalną długość w stanowisku badawczym. Przyłączony zawór ograniczający ciśnienie nastawia się na maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze stojaka lub podpory. Próbę zsuwania przeprowadza się w całym zakresie skoku hydraulicznego dla prędkości zsuwu 10 ± 2 mm/min.

Obciążenie zewnętrzne wymusza się przez zadanie ciśnienia cieczy w przestrzeni siłowników stanowiska badawczego.

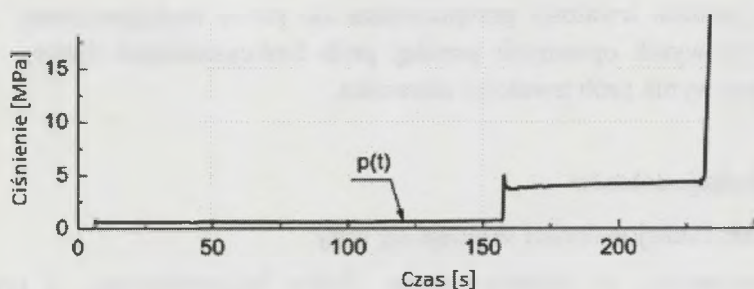
W trakcie próby mierzy się ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka lub podpory. Prędkość zsuwu określa się przez pomiar drogi w czasie.

Wartość siły zmierzonej w czasie zsuwu nie powinna być większa od wartości siły zmierzonej w czasie próby podatności, przy symetrycznym obciążeniu osiowym o więcej niż 10%. Równocześnie nie powinna być mniejsza od siły nominalnej.

Funkcjonalność - próba wysuwu

Siłownik swobodnie leżący podłącza się do hydraulicznego układu zasilającego i wysuwa się hydraulicznie do wewnętrznego ogranicznika. W trakcie wysuwania mierzy się ciśnienie w przestrzeni podtłokowej siłownika.

Przykładowy wykres przebiegu ciśnienia w czasie zarejestrowany podczas próby wysuwu stojaka dwuteleskopowego z zaworem dennym $\phi 320/305/220/210 \times 2390$ przedstawiono na rysunku 3.24.



Rys. 3.24. Stojak ϕ 320/305/220/210x2390.
Funkcjonalność. Wysuw stojaka swobodnie leżącego [37]

Przy hydraulicznym wysuwaniu siłownika do maksymalnej długości ciśnienie nie powinno przekraczać wartości 80% maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego.

Funkcjonalność - Próba szczelności

Siłownik, po odpowietrzeniu, rozpira się w stanowisku badawczym do 95% maksymalnej długości.

Po zadaniu do przestrzeni podtłokowej, ciśnienia o wartości równej maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu roboczemu, odcina się przestrzenie czynne cylindrów hydraulicznych siłownika. Ciśnienie utrzymuje się przez 11 minut.

W trakcie próby rejestruje się przebieg ciśnienia wewnętrznego w funkcji czasu. Dla wielostopniowych siłowników rejestruje się ciśnienie w pierwszym stopniu.

3.2.4. Badanie zaczepów transportowych siłowników hydraulicznych

Zaczep transportowy poddaje się obciążeniu rozciągającemu, o wartości 4-krotnej nośności nominalnej zaczepu [22]. Do wywołania obciążenia rozciągającego wykorzystuje się siłowniki stanowiska badawczego lub siłowniki nie będące na wyposażeniu stanowiska.

3.2.5. Ocena wyników badań siłowników

Próby trwałości uznaje się za pozytywne po uzyskaniu pozytywnych wyników badania funkcjonalności.

Podczas przeprowadzania próby przeciążenia statycznego przy 1,5-krotnej sile nominalnej lub 1,5-krotnym maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniu roboczym trwałe względne odkształcenie cylindrów nie powinno być większe niż 0,02% [22].

W czasie prób obciążeniowych nie mogą wystąpić uszkodzenia, które pogorszyłyby parametry siłowe siłownika (rozumiane w PN-EN 1804-2+A1:2012 [22] jako siła wytwarzana przez siłownik). Dopuszczalne jest pogorszenie parametrów siłowych w drugiej próbie siłownika, realizowanej przy dwukrotnym przeciążeniu. W trakcie próby nie powinny jednak wystąpić pęknięcia w materiale rodzimym lub w spoinach.

3.3. Badania zaworów hydraulicznych

W normie PN-EN 1804-3+A1:2012 [23] zdefiniowano zawory jako elementy sterujące funkcjami hydraulicznymi. Spośród zaworów hydraulicznych stosowanych w górniczej obudowie zmechanizowanej wyróżnia się zawory typu A, B, C i D, przy czym:

- Zawory typu A ograniczają wewnętrzne ciśnienie hydrauliczne w hydraulicznych elementach wykonawczych,
- Zawory typu B w położeniu zamkniętym odcinają dopływ cieczy roboczej bezpośrednio do hydraulicznych elementów wykonawczych,
- Zawory typu C w swoim neutralnym położeniu odcinają dopływ cieczy roboczej do hydraulicznych elementów wykonawczych, a po otwarciu umożliwiają dopływ cieczy roboczej do hydraulicznych elementów wykonawczych lub do innych zaworów w celu ich przesterowania,
- Zawory typu D, które nie mogą być zakwalifikowane żadnego z typów wymienionych wcześniej; do zaworów typu D zalicza się np. zawory specjalne lub zawory zespolone.

Zestawienie najistotniejszych wymagań bezpieczeństwa oraz badań stanowiskowych służących ich sprawdzeniu przedstawiono w tabeli 3.9, opracowanej na podstawie [23].

Zestawienie wymagań bezpieczeństwa zaworów hydraulicznych oraz badań stanowiskowych służących ich sprawdzeniu [23]

Tabela 3.9

Pkt. normy	Wymagania bezpieczeństwa	Sprawdzenie	Pkt. normy
5.3	Zawory typu A		A.1.3
	Szczelność	Próba szczelności	
	Ciśnienie robocze	Badanie ciśnienia roboczego oraz ciśnienia otwarcia i zamknięcia w temperaturze otoczenia	
	Ciśnienie otwarcia		
	Ciśnienie zamknięcia		
	Impulsowy wzrost ciśnienia	Badanie przy impulsowym wzroście ciśnienia	
	Odporność na udary mechaniczne	Próba udarności	
	Uzależnienie ciśnienia od natężenia przepływu	Badanie zależności ciśnienia otwarcia od natężenia przepływu	
	Niezawodność działania	Badanie wytrzymałości zmęczeniowej	
	Odporność na ciśnienie na spływie	Badanie odporności na ciśnienie na spływie	
5.4	Zawory typu B i C		A.1.4 (typu B)
	Szczelność	Próba szczelności	
	Wytrzymałość	Próba ciśnieniowa	A.1.5 (typu C)
	Zachowanie w trakcie przesterowywania	Próba przełączania	
	Niezawodność działania	Badanie wytrzymałości zmęczeniowej	
	Odporność na ciśnienie na spływie	Badanie oddziaływania ciśnienia na spływie	
5.5	Zawory typu D		A.1.6
	Wymagania bezpieczeństwa i ich sprawdzenie są uzależnione od budowy zaworu		

3.3.1. Zawory typu A

W przypadku zaworów typu A o regulowanym ciśnieniu roboczym, badania typu prowadzone są, na co najmniej dwóch egzemplarzach. Podczas próby jeden zawór ustawiany jest na najniższe ciśnienie robocze, a drugi na najwyższe.

W ramach badania typu wykonywane są następujące badania w celu sprawdzenia wymagań bezpieczeństwa:

Próba szczelności

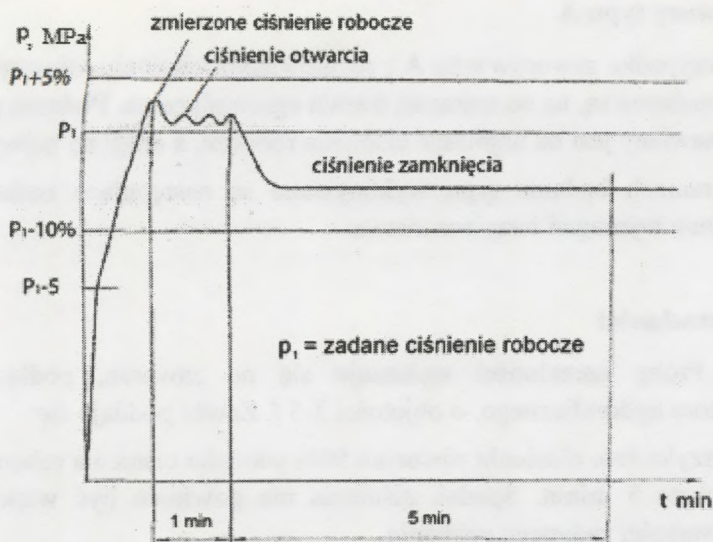
Próbę szczelności wykonuje się na zaworze, podłączonym do akumulatora hydraulicznego, o objętości 2-5 l. Zawór poddaje się:

- trzykrotnie ciśnieniu równemu 95% wartości ciśnienia roboczego, przez okres 5 minut. Spadek ciśnienia nie powinien być większy od 2% wartości zadanego ciśnienia,
- ciśnieniu równemu 95% wartości ciśnienia roboczego przez okres 8 godzin, w stałej temperaturze otoczenia. Przez pierwsze 3 godziny próby ciśnienie nie może spaść więcej niż o 3% wartości zadanego ciśnienia, a następnie, do końca próby niedopuszczalny jest dalszy spadek ciśnienia.

Badanie ciśnienia roboczego oraz ciśnienia otwarcia i zamknięcia

Zawór podłączony do akumulatora hydraulicznego, o objętości 2-5 l, poddaje się ciśnieniu zwiększanemu monotonicznie, aż do jego otwarcia, przy czym poczynając od ciśnienia o 5 MPa mniejszego od nominalnej wartości ciśnienia otwarcia, tempo narastania ciśnienia jest mniejsze od 1 MPa/s. Następnie, po otwarciu zaworu, przez 1 min. utrzymuje się przepływ medium roboczego przez zawór z natężeniem, wynoszącym 0,04 l/min. Po odcięciu przepływu, przez 5 min mierzy się ciśnienie medium roboczego, wyznaczając w ten sposób ciśnienie zamknięcia zaworu. Przebieg czasowy w trakcie próby przedstawiono graficznie na rysunku 3.25.

Zgodnie z wymaganiami normatywnymi [23] ciśnienie otwarcia nie może być większe od wartości ciśnienia roboczego więcej niż o 5%, natomiast różnica pomiędzy wartością ciśnienia roboczego a ciśnieniem zamknięcia nie może być większa niż 10% wartości ciśnienia roboczego.



Rys. 3.25. Przykładowa charakterystyka dla zaworu typu A [23]

Badanie przy impulsowym wzroście ciśnienia

Badanie polega na wywołaniu impulsowego przyrostu ciśnienia, w przedziale od wartości, wynoszącej 60% ciśnienia roboczego, przynajmniej do ciśnienia impulsowego, którego wartość dla poszczególnych kategorii zaworu zestawiono w tabeli 3.10.

Kryterium zaszeregowania zaworu do danej kategorii jest jego przepustowość (patrz tabela 3.10).

Próbe wykonuje się trzykrotnie. Narastanie ciśnienia do wartości impulsowej powinno trwać od 5 do 25 ms. W Laboratorium Badań ITG KOMAG badania zaworu przy impulsowym wzroście ciśnienia wykonuje się w stanowisku kafarowym przedstawionym na rysunku 1.5. Dla większych przepustowości zaworów do wywołania impulsowego wzrostu ciśnienia można stosować metodę wybuchową w stanowisku przedstawionym na rysunku 1.4.

Po wykonaniu badań przy impulsowym wzroście ciśnienia zawór powinien być sprawny oraz spełniać wymagania w odniesieniu do szczelności oraz wartości ciśnienia: roboczego, otwarcia i zamknięcia.

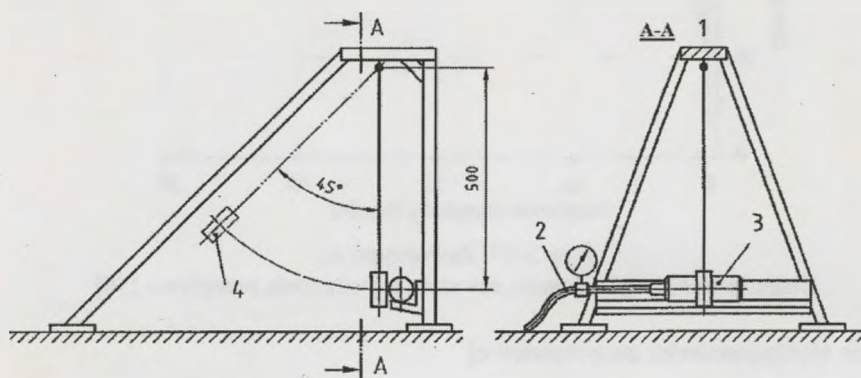
Zestawienie wymaganych wartości ciśnienia impulsowego w zależności od kategorii zaworu typu A [23]

Tabela 3.10

Kategoria	Przepustowość	Ciśnienie impulsowe
Ia	$30 \text{ l/min} \leq 60 \text{ l/min}$	$1,5 \times p_r$
Ib	$> 60 \text{ l/min} \leq 150 \text{ l/min}$	$1,5 \times p_r$
II	$> 150 \text{ l/min} \leq 400 \text{ l/min}$	$1,4 \times p_r$
III	$> 400 \text{ l/min} \leq 1000 \text{ l/min}$	$1,3 \times p_r$
IV	$> 1000 \text{ l/min}$	$1,2 \times p_r$

Próba udarności

Celem sprawdzenia wymagania bezpieczeństwa, zgodnie z którym „udary mechaniczne nie powinny zakłócać działania zaworów” na specjalnym stanowisku przedstawionym na rysunku 3.2.6, przeprowadza się próbę udarności zaworu.



Rys. 3.26. Próba udarności [23]

1 – rama, 2 – przewód hydrauliczny, 3 – zawór, 4 – bijak

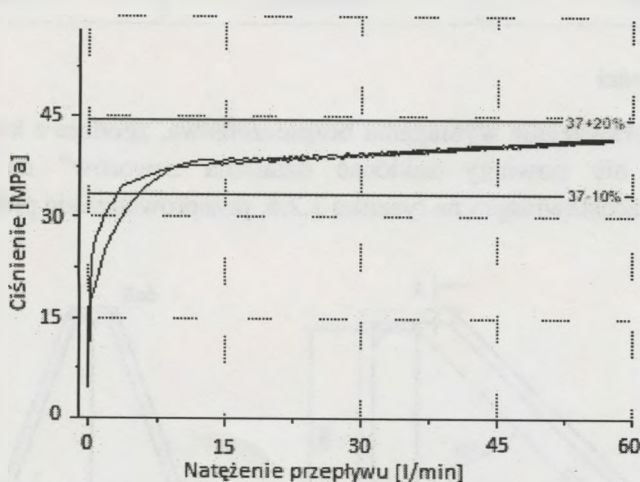
Zawór poddaje się trzykrotnemu uderzeniu bijakiem (4) o masie 1 kg, zawieszonym na cięgnie o długości 500 mm i odchylonym od pionu pod kątem 45° . Podczas próby utrzymuje się natężenie przepływu medium roboczego przez zawór o wartości $0,04 \text{ l/min}$.

W trakcie wykonywania próby i po jej zakończeniu wartość ciśnienia otwarcia i zamknięcia zaworu powinny pozostawać w granicach tolerancji określonych podczas badania ciśnienia roboczego oraz ciśnienia otwarcia i zamknięcia.

Badanie zależności ciśnienia otwarcia od natężenia przepływu

Podczas badania stopniowo zwiększa się natężenie przepływu cieczy roboczej przez zawór, od 0 do natężenia przepływu określonego przez producenta. Następnie stopniowo zmniejsza się natężenie przepływu do zera.

Ciśnienie otwarcia, rozumiane jako ciśnienie medium roboczego przy którym zawór się otwiera i następuje przepływ cieczy ze zmiennym natężeniem. Ciśnienie to powinno zawierać się między 0,9 a 1,2 wartości zadanego ciśnienia roboczego. Przykładowo na rysunku 3.27 przedstawiono wykres zależności ciśnienia otwarcia od natężenia przepływu dla zaworu typu A.



Rys. 3.27. Zawór typu A.

Badanie zależności ciśnienia otwarcia od natężenia przepływu [36]

Badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Badanie polega na poddaniu zaworu 10 500 cyklom obciążenia, w tym:

- w trakcie 5 000 cykli podczas których przez co najmniej 5 s uzyskuje się natężenie przepływu cieczy roboczej przez zawór wynoszące 0,04 l/min, po czym następuje przerwanie przepływu i zmniejszenie ciśnienia do zera,
- w trakcie kolejnych 5 000 podczas których przez co najmniej 5 s uzyskuje się natężenie przepływu cieczy roboczej przez zawór wynoszące 0,4 l/min, po czym następuje przerwanie przepływu i zmniejszenie ciśnienia do zera,
- w trakcie kolejnych 500 podczas których przez co najmniej 5 s uzyskuje się natężenie przepływu cieczy roboczej przez zawór wynoszące 30 l/min, po czym następuje przerwanie przepływu i zmniejszenie ciśnienia do zera.

Czas trwania jednego cyklu wynosi co najmniej 10 s.

Po wykonaniu 10 000 cykli obciążenia sprawdza się spełnienie wymagań zaworu odnośnie do szczelności i wartości ciśnienia: roboczego, otwarcia i zamknięcia oraz zależności ciśnienia otwarcia od natężenia przepływu.

Po wykonaniu 10 500 cykli obciążenia, zawór poddaje się trzykrotnie, trwającej 5 minut próbie szczelności, przy ciśnieniu wynoszącym 85% ciśnienia roboczego. Spadek ciśnienia nie powinien być większy od 2% ciśnienia próbnego.

Badanie odporności na ciśnienie na spływie

Zawór podłącza się do instalacji tak, aby ciśnienie za zaworem (na spływie) wynosiło $6 \pm 0,5$ MPa. Podczas badań zwiększa się ciśnienie przed zaworem, aż do jego otwarcia. Po otwarciu zaworu przez 1 minutę utrzymuje się natężenie przepływu wynoszące 0,04 l/min. Wyznaczone w trakcie tego badania wartości ciśnienia: roboczego, otwarcia i zamknięcia nie mogą się różnić więcej niż o 5% od wartości zmierzonych podczas badań ciśnienia: roboczego, otwarcia i zamknięcia.

3.3.2. Zawory typu B

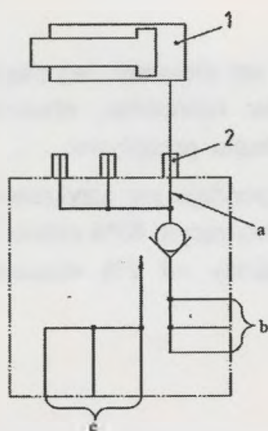
Badania typu zaworu typu B przeprowadzane są na jednym egzemplarzu.

W ramach badania typu wykonywane są następujące badania:

Próba szczelności

Badania realizowane są dwuetapowo:

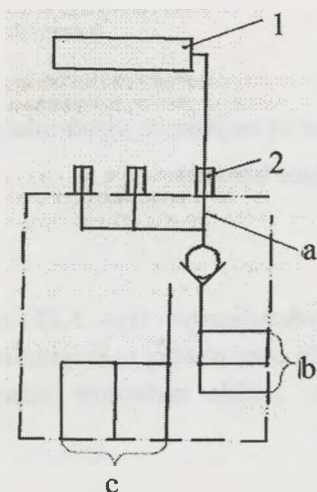
- etap I: zawór połączony z siłownikiem hydraulicznym (rys. 3.28) zasila się ciśnieniem o wartości: 2 MPa, 10 MPa oraz równej maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu użytkowania. Każde zadawane ciśnienie utrzymuje się, przez co najmniej 5 minut.



- 1 - siłownik
- 2 - złącza stosowane podczas normalnego użytkowania sekcji obudowy
- a - przyłącza siłownika
- b - przyłącza obwodu sterowania
- c - przyłącza obwodu rabowania

Rys. 3.28. Schemat układu z siłownikiem testującym do badań zaworu zwrotnego [23]

- etap II: zawór, połączony ze zbiornikiem hydraulicznym o pojemności od 2 do 5 l (rys. 3.29), poddaje się działaniu ciśnienia o wartości 1,5-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania.



- 1 - zbiornik o pojemności od 2 do 5 l
- 2 - złącza stosowane podczas normalnego użytkowania sekcji obudowy
- a - przyłącza siłownika
- b - przyłącza obwodu sterowania
- c - przyłącza obwodu rabowania

Rys. 3.29. Schemat układu z dodatkową pojemnością do badań zaworu zwrotnego [23]

Podczas prób spadek ciśnienia nie powinien być większy od 2% wartości zadanego ciśnienia. Następnie zawór poddaje się, przez 8 godzin, maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu użytkowania. Przez pierwsze 3 godziny ciśnienie może spaść o 3% wartości zadanego ciśnienia, a następnie do końca próby nie powinien nastąpić już spadek ciśnienia.

Próba ciśnieniowa

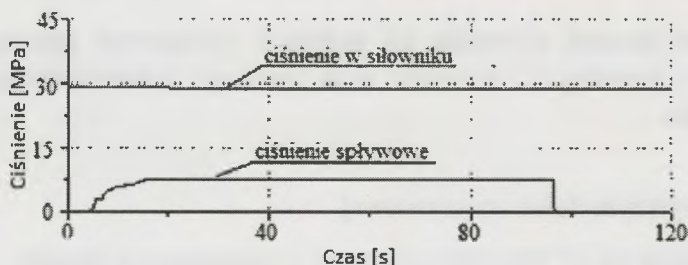
Zawór podłączony do zbiornika hydraulicznego, o objętości od 2 do 5 l, poddaje się dwukrotnie działaniu ciśnienia o wartości równej 1,5-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania poprzez przyłącza *a*, *b* i *c* (rys. 3.29). Ciśnienie to utrzymuje się, przez co najmniej 3 minuty, dla każdego z przyłączy. Po zakończeniu prób powinny być spełnione wymagania dotyczące szczelności i przełączania, przytoczone w tabeli 3.9.

Następnie zawór podłączony do zbiornika hydraulicznego, o objętości od 2 do 5 l, poddaje się działaniu ciśnienia o wartości równej 2,0-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania. Działanie zaworu może być zakłócone, lecz nie powinno nastąpić ani jego rozerwanie, ani wyrzucanie jego elementów.

Badanie oddziaływania ciśnienia na spływie

Zawór połączony z siłownikiem hydraulicznym zasila się ciśnieniem równym 60% wartości maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania (rys. 3.28). Następnie przyłącza *b* i *c*, na których podczas użytkowania może wystąpić oddziaływanie ciśnienia na spływie, poddaje się przez 1 minutę ciśnieniu o wartości $8 \pm 0,5$ MPa. Spadek ciśnienia w siłowniku nie powinien być większy od 2% wartości zadanego ciśnienia.

Przykładowe wykresy zarejestrowane podczas badania oddziaływania ciśnienia na spływie zaworu zwrotnego typu ZSI przedstawiono na rysunku 3.30.



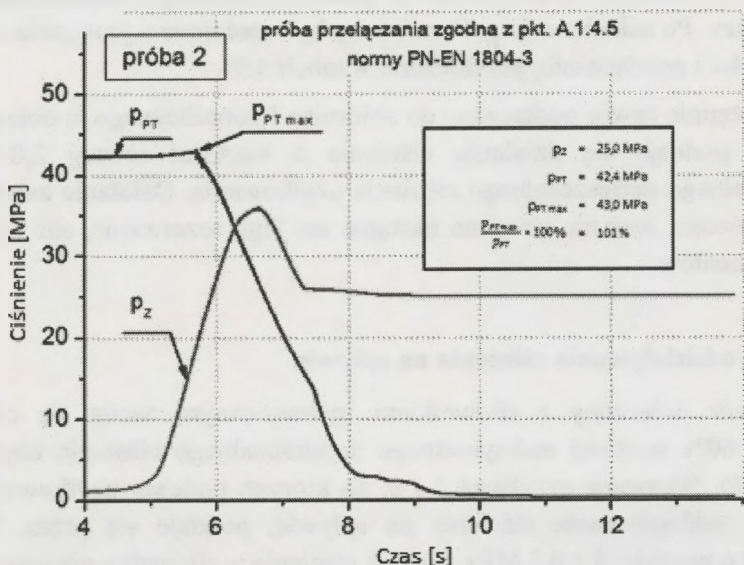
Rys. 3.30. Zawór zwrotny ZSI. Badanie oddziaływania ciśnienia na spływie [30]

Próba przełączania

Zawór podłącza się do stojaka o średnicy ϕ 250 mm i skoku 800 mm zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3.28. Otwierając zawór rozpiera się stojak do maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania. Następnie

zawór dwukrotnie rozładowuje się zarówno hydraulicznie, jak i za pomocą dodatkowego urządzenia jeśli jest zamontowane.

Przykładowe wykresy zarejestrowane podczas próby przełączania zaworu zwrotnego przedstawiono na rysunku 3.31.



Rys. 3.31. Próba przełączania zaworu zwrotnego sterowanego [38]
 p_{PT} – ciśnienie w przestrzeni podłokowej stojaka, p_z – ciśnienie zasilania,
 p_{PTmax} - maksymalne ciśnienie w przestrzeni podłokowej stojaka

Na przyłączach siłownika nie powinien występować przyrost ciśnienia o wartości powyżej 1,5-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania.

Badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Zawór poddaje się 30 000 cykli roboczych o następujących fazach:

- rozparcie stojaka o średnicy ϕ 250 mm i skoku 800 mm, do maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania,
- otwarcie zaworu i zsuniecie stojaka o 100 mm.

Podczas badań stosuje się pompę o wydajności, co najmniej 70 l/min. Po zakończeniu prób powinny być spełnione wymagania dotyczące szczelności.

3.3.3. Zawory typu C

Badania typu zaworu typu C przeprowadzane są na jednym egzemplarzu. W ramach badania typu wykonywane są następujące badania:

Próba szczelności

Zawór połączony ze zbiornikiem hydraulicznym, o pojemności od 2 do 5 l, poddaje się kolejno ciśnieniu o wartości równej: 2 MPa, 10 MPa, równej maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu użytkowania oraz 1,5-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania. Każde zadane ciśnienie utrzymuje się, przez co najmniej 5 minut. Spadek ciśnienia nie powinien być większy od 2% wartości zadanego ciśnienia.

Następnie zawór poddaje się maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu użytkowania przez 8 godzin w stałej temperaturze otoczenia. Przez pierwsze 3 godziny ciśnienie może spaść o 3% wartości zadanego ciśnienia, a następnie do końca próby nie powinien występować już spadek ciśnienia.

Próba ciśnieniowa

Zawór, połączony ze zbiornikiem hydraulicznym, o pojemności od 2 do 5 l, poddaje się dwukrotnie działaniu ciśnienia o wartości równej 1,5-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania. Ciśnienie to utrzymuje się, przez co najmniej 3 minuty, na każdym z przyłączy, dla każdego położenia, za wyjątkiem spływowego.

Po zakończeniu prób powinny być spełnione wymagania dotyczące szczelności i przełączania.

Następnie zawór, połączony ze zbiornikiem hydraulicznym, o pojemności od 2 do 5 l, poddaje się działaniu ciśnienia o wartości równej 2,0-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania.

W trakcie próby nie powinno nastąpić, ani rozerwanie zaworu ani wyrzucenie żadnego jego elementu.

Badanie oddziaływania ciśnienia na spływie

Przy zaworze w położeniu neutralnym, każde z przyłączy odbiorników podłącza się do zbiornika hydraulicznego, o objętości od 2 do 5 l, i poddaje się ciśnieniu o wartości 15 MPa. Przyłącza zaworu, w których podczas normalnej

eksploatacji może wystąpić ciśnienie sphywowe, poddaje się ciśnieniu o wartości wynoszącej $6 \pm 0,5$ MPa przez okres 1 minuty.

Badania powtarza się dla ciśnienia zasilania równego maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu użytkowania.

Wartość ciśnienia na przyłączach odbiornikowych nie powinna być wyższa niż na sphywie.

Próba przełączania

Przy zaworze w położeniu neutralnym każde z przyłączy odbiorników podłącza się do zbiornika hydraulicznego, o objętości od 2 do 5 l, i poddaje ciśnieniu o wartości maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania, następnie zawór przełącza się.

Na przyłączach nie powinien występować przyrost ciśnienia o wartości powyżej 1,5-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia użytkowania.

Badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Zawór poddaje się 30 000 cykli roboczych o następujących fazach:

- otwarcie zaworu i wymuszenie przepływu cieczy roboczej w czasie co najmniej 5 sekund, we wszystkich kierunkach jakie występują podczas normalnego użytkowania.
- zamknięcie zaworu.

Podczas badań stosuje się pompę o wydajności, co najmniej 70 l/min, przy maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniu użytkowania zaworu. Po badaniach zawór powinien działać prawidłowo i spełniać wymagania prób szczelności.

3.3.4. Zawory typu D

Badania typu zaworu typu D przeprowadzane są na jednym egzemplarzu.

Jeśli w zaworach typu D występują elementy lub zespoły stosowane w zaworach typu A, B lub C, zawory typu D bada się zgodnie z procedurami dotyczącymi tych zaworów.

Analizując wymagania normy w odniesieniu do poszczególnych prób zaworów różnych typów można dostrzec podobieństwa i różnice procedur badawczych w zależności od typu zaworu. Dotyczą one nie tylko zestawu wymaganych prób, ale również sposobu ich przeprowadzania i wymagań stawianych zaworom.

Wszystkie typy zaworów poddawane są próbie szczelności i próbie ciśnieniowej. W tabelach 3.11 i 3.12 zestawiono wymagania normatywne dla tych prób w odniesieniu do wszystkich typów zaworów.

Porównanie wymagań dotyczących próby szczelności w odniesieniu do zaworów typu A, B, C

Tabela 3.11

Tablica 111

Próba szczelności								
Typ zaworu		A		B			C	
Etap badania		1	2	1	2	3	1	2
Uwagi				Zasilanie przez zawór	Zasilanie od strony zaporowej		Zasilanie przez zawór w położeniu neutralnym	
Ciśnienie próby		$0,95 \cdot p_n$	$0,95 \cdot p_n$	2 MPa 10 MPa $1,0 \cdot p_n$	$1,5 \cdot p_n$	p_n	2 MPa 10 MPa $1,0 \cdot p_n$ $1,5 \cdot p_n$	p_n
Czas wykonania próby		5 min	8 h	5 min	5 min	8 h	5 min	8 h
Zawór podłączony do	Akumulator hydr. o obj. $2 \div 5 \text{ l}$	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
	Stojak hydrauliczny	-	-	✓	-	-	-	-
Liczba powtórzeń		3	1	2	2	1	2	1
Dopuszczalny spadek ciśnienia Δp		$\Delta p \leq 2\% p$	$\Delta p \leq 3\% p^a$	$\Delta p \leq 2\% p$	$\Delta p \leq 2\% p$	$\Delta p \leq 3\% p^a$	$\Delta p \leq 2\% p$	$\Delta p \leq 3\% p^a$

a/ tylko przez początkowe 3 h

Porównanie wymagań dotyczących próby ciśnieniowej w odniesieniu do zaworów typu A, B, C.

Tabela 3.12

Próba ciśnieniowa						
Typ zaworu	A		B		C	
Etap badania	1	1	2	1	2	3
Uwagi		Przyłącza a, b, c		Wszystkie pozycje z wyjątkiem spływu		Spływ
Ciśnienie próby	p_n	$1,5 \cdot p_n$	$2,0 \cdot p_n$	$1,5 \cdot p_n$	$2,0 \cdot p_n$	p_n
Uwagi dotyczące przebiegu próby	Ciśnienie monotonicznie rośnie. Dla $p \geq p_n - 5 \text{ MPa}$ $v_p < 1 \text{ MPa/s}$ Po otwarciu $Q = 0,04 \text{ l/min}$ przez 1 min					
Czas wykonania próby	Po odcięciu pomiar przez 5 min	5 min	5 min	3 min	3 min	3 min
Akumulator hydr. o obj. 2÷5 l	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Liczba powtórzeń	1	2	2	1	2	1
Wymagania	Ciśnienie otwarcia p_o $ p_n - p_o \leq 0,05 \cdot p_n$ Ciśnienie zamknięcia p_z $ p_z - p_n \leq 0,1 \cdot p_n$	Spełnione wymagania dotyczące szczelności	Działanie może być zakłócone, niedopuszczalne rozerwanie zaworu lub wyrzut części	Spadek ciśnienia $\Delta p \leq 2\% p$ Spełnione wymagania dot. przełączania	Niedopuszczalne rozerwanie zaworu lub wyrzut części	Spełnione wymagania dot. przełączania

4. Badania sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów prowadzone w innych jednostkach

Obszerną analizę możliwości badawczych laboratoriów realizujących w XX wieku badania sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów przedstawiono w pracy [42]. W tabeli 4.1 zestawiono informacje dotyczące stanowisk badawczych funkcjonujących w wiodących europejskich ośrodkach badawczych.

Stanowiska do badań sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów funkcjonujące pod koniec XX wieku w europejskich ośrodkach badawczych (według [42])

Tabela 4.1

Rodzaj stanowiska	MPA Dortmund	KOMAG Gliwice	GIG Katowice	OSTROJ Opawa
Szytna rama do badania kompletnych sekcji	X	X	-	-
Szytna rama do badania stojaków i siłowników	X	X	O	-
Prasa hydrauliczna do badania stojaków i siłowników	X	X	O	-
Prasa hydrauliczna szybkiego zsuwu	X	-	-	X
Pochylnia do badania stateczności sekcji	X	X	-	O
Urządzenie kafarowe lub generator obciążenia dynamicznego	X	X	X	O

x - stanowisko umożliwia badania w pełnym zakresie określonym w normach serii EN-1804

o - stanowisko umożliwia realizację ograniczonego zakresu badań

Z tabeli 4.1 wynika, że w latach 90. XX wieku pełny zakres badań sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów można było zrealizować w dwóch ośrodkach – w MPA Dortmund i KOMAG Gliwice. Jak wynika z [52] ani badania sekcji obudowy zmechanizowanej ani stojaków hydraulicznych w MPA Dortmund nie są aktualnie prowadzone.

Fabryka OSTROJ w Opawie dysponowała ograniczonym zestawem stanowisk badawczych, przystosowanych głównie do badań sekcji obudowy zmechanizowanej własnej produkcji. Do unikalnych stanowisk zaliczyć należy prasę hydrauliczną z szybkim zsuwem firmy Schlemann. Niestety aktualnie jest ona wykorzystywana wyłącznie w procesie produkcyjnym fabryki. Pozostałe stanowiska do badań sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów funkcjonujące w OSTROJ Opawa przejęła firma Technicke Laboratore Opava a.s.

(TLO). Zgodnie z [53] laboratorium badania sekcji obudowy zmechanizowanej w TLO jest wyposażone w dwie sztywne ramy CDZ 1800 (obciążenie 18 MN) i CDZ 2500 (obciążenie 25 MN) oraz kafar o masie bijaka, wynoszącej od 2 t do 20 t, maksymalna energia uderu 0,4 MJ.

Badania sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów aktualnie prowadzone w GIG są wykorzystywane głównie w procesie certyfikacji stojaków hydraulicznych. Oprócz ITG KOMAG i GIG badania sekcji obudowy zmechanizowanej i stojaków hydraulicznych wykonywane są również przez producentów na stanowiskach w poszczególnych zakładach.

Poniżej omówiono następujące przykłady badań poznawczych zrealizowanych w tych ośrodkach:

- badania stojaków w Głównym Instytucie Górnictwa,
- badania stojaków na stanowisku w hucie „Stalowa Wola”,
- badania sekcji obudowy zmechanizowanej w specjalnej ramie zaprojektowanej i wykonanej w ramach projektu nr PBS3/B2/22/2015.

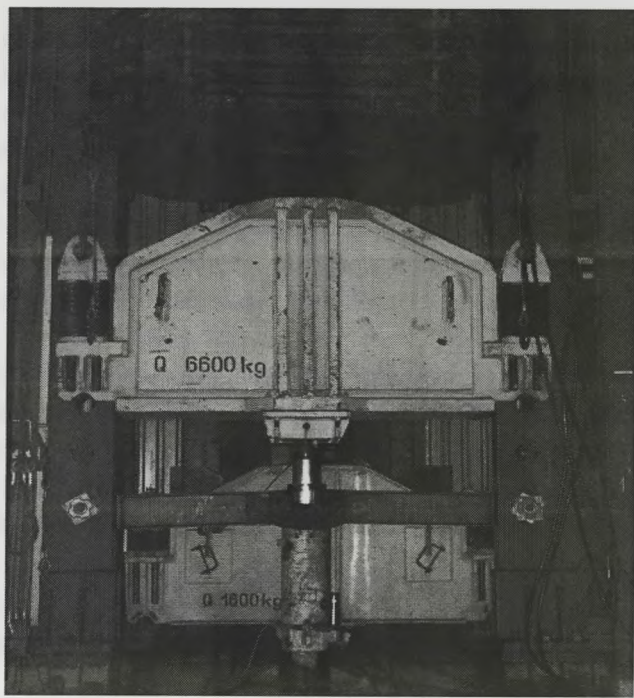
Badania stojaków w Głównym Instytucie Górnictwa, wykonano dla potrzeb realizacji pracy [41], których część zrealizowanych w KOMAG-u opisano w pkt. 2.3.2.

Badania stojaków metodą kafarową przeprowadzono na stanowisku przedstawionym na rysunku 4.1.

Stojak umieszczono pionowo pomiędzy fundamentem stanowiska a trawersem. Następnie wysuwano na wymaganą wysokość i po zablokowaniu dalszego ruchu trawersu w górę rozpierano go do wymaganej podporności początkowej i odcinano zasilanie. Tak przygotowany stojak obciążano dynamicznie bijakiem opuszczanym swobodnie z odpowiedniej wysokości. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem bijaka o masie 20 000 kg.

Badania rozpoczynano od małej wysokości spadku bijaka, a następnie zwiększano ją stopniowo aż do wysokości, przy której osiągnano wymagane ciśnienie cieczy w stojaku.

Celem badań było wykazanie możliwości przejścia dodatkowego obciążenia, wynikającego ze wstrząsów górotworu, przez stojaki, poprzez zmianę postaci konstrukcyjnej rdzennika lub zastosowania zaworu upustowego o określonej charakterystyce.



Rys. 4.1. Widok kafarowego stanowiska badawczego w GIG [41]

Pełny cykl badań objął próby ze stojakami dwuteleskopowymi z zaworem dennym Φ 0,21/0,16 m, w wykonaniu standardowym (wersja remontowana), z wydrążonym rdzennikiem II. stopnia (zmiana postaci konstrukcyjnej), bez zaworów upustowych oraz z zaworami o zróżnicowanej przepustowości.

Badania przeprowadzono dla dwóch wysokości rozparcia stojaka, 0,325 m ($0,31 l_{max}$) i 0,925 m ($0,89 l_{max}$). Do prób wykorzystano jednostopniowe zawory sprężynowe o przepustowości: 250, 400, 1350 i 2000 l/min oraz zawór dwustopniowy o przepustowości 4700 l/min (rys. 2.58).

Badania przeprowadzono dla stojaka bez zaworu upustowego, a następnie z zaworem, w celu stwierdzenia wpływu jego działania na charakterystykę dynamiczną stojaka. Podczas badań rejestrowano przebieg ciśnienia cieczy w przestrzeni podtłokowej I stopnia stojaka.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że [41]:

- największy wpływ na zmniejszenie ciśnienia maksymalnego widoczny był przy zastosowaniu zaworu o przepustowości 400 l/min, w dalszej kolejności o przepustowości 1350 l/min i 2000 l/min.

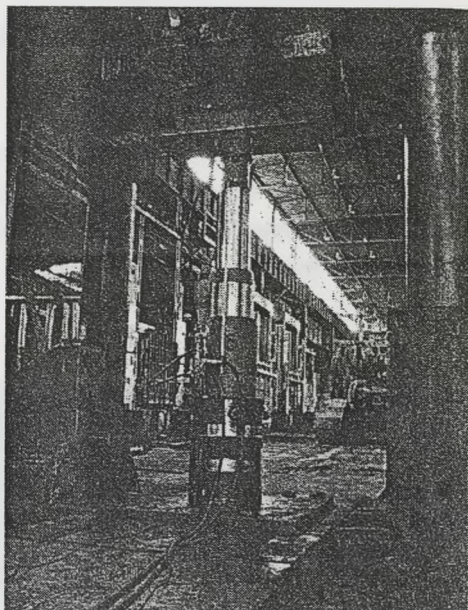
- ciecz w przestrzeni rdzennika, jest dodatkowym elementem pochłaniającym część energii obciążenia dynamicznego i powoduje zwiększenie odporności stojaka na obciążenie dynamiczne o około 23%. W stojaku z rdzennikiem wypełnionym cieczą, czas narastania ciśnienia od wartości wstępnej do maksymalnej, w porównaniu do stojaka w wykonaniu standardowym, wydłużył się o około 7 ms (22%). Ma to istotne znaczenie podczas obciążeń o bardzo szybkim czasie narastania. Zmniejszenie szybkości narastania ciśnienia zwiększa skuteczność pracy zaworu upustowego, związaną z otwarciem zaworu w pierwszej narastającej części przebiegu ciśnienia, oraz jego odpowiednio szybkim zamknięciem (przed nadmiernym spadkiem ciśnienia cieczy), skuteczność działania zaworów na obniżenie maksymalnego ciśnienia jest największa przy mniejszych wysuwach i zmniejsza się przy wysuwach dochodzących do maksymalnego wysuwu stojaka,
- istnieje możliwość przejścia dodatkowego obciążenia przez stojaki z otworami wzdłużnymi w płaszczy cylindra II stopnia, poprzez zmianę postaci konstrukcyjnej rdzennika lub zastosowanie zaworu upustowego o określonej charakterystyce,
- zastosowanie obydwu rozwiązań prowadziło do ograniczenia maksymalnej siły wewnętrznej w stojaku, generowanej zewnętrznym obciążeniem, o charakterze dynamicznym.

Omawiane stanowisko badawcze wykorzystywano nie tylko do badań stojaków hydraulicznych stosowanych w obudowie zmechanizowanej. Oprócz indywidualnych stojaków hydraulicznych [28], hydraulicznych elementów sterujących wykonano na nim przykładowo badania modelowe odporności kotwi strunowych na obciążenie dynamiczne [27].

Interesujące badania oddziaływania obciążenia dynamicznego na stojak hydrauliczny przeprowadzono na stanowisku badawczym zlokalizowanym w Hucie "Stalowa Wola" (rys. 4.2). Obciążenie dynamiczne stojaka wywoływano za pomocą prasy kuźniczej odpowiednio adaptowanej do badania stojaków umocowanych na stanowisku w pozycji pionowej [7]. Parametry techniczne stanowiska badawczego utworzonego w ten sposób umożliwiły wykonanie badań stojaków hydraulicznych o dużej odporności.

W skład stanowiska badawczego wchodzi trzy układy [7]:

- zaadaptowany do celów badań mechaniczny układ prasy kuźniczej,
- hydrauliczny układ odpowietrzania i sterowania pozycjonowaniem stojaka,
- układ pomiarowy.



Rys. 4.2. Prasa kuźnicza zaadaptowana do badania stojaków w Hucie Stalowa Wola [7]

Szczególnie wartościowy jest aspekt poznawczy badań prowadzonych na omawianym stanowisku. Między innymi wykorzystano je do testów prototypowego zaworu upustowego [5, 6] przeznaczonego do stosowania w układzie hydraulicznym sekcji obudowy zmechanizowanej. Wykonano również badania których celem była weryfikacja modelu matematycznego dynamicznego oddziaływania na dwustopniowy stojak hydrauliczny [2].

Badania sekcji obudowy zmechanizowanej w specjalnie zaprojektowanej ramie. W Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych Akademii Górniczo-Hutniczej opracowano koncepcję obudowy zmechanizowanej nowego typu, przeznaczonej do pokładów cienkich, która w porównaniu z aktualnie eksploatowanymi charakteryzuje się większą strefą przejścia, zwiększonym stosunkiem podporności obudowy do jej masy oraz zmniejszeniem liczby podstawowych elementów (uproszczenie konstrukcji) [8]. Zaletą sekcji obudowy jest pionowy ruch stropnicy w cyklu rozpierania i rabowania obudowy, co praktycznie eliminuje siły tarcia styczne do powierzchni stropnicy. W ramach projektu nr PBS3/B2/22/2015 pt. „Prace studialne i badawcze nad opracowaniem zmechanizowanej obudowy nowego typu do pokładów cienkich” zaplanowano wykonanie i przebadanie trzech sekcji zmechanizowanej obudowy nowego typu. Badania stanowiskowe zostały podzielone na dwie fazy. W pierwszej fazie przeprowadzono badania współpracy trzech sekcji obudowy. Celem tej fazy badań było sprawdzenie współdziałania sekcji w sytuacji realizacji

poszczególnych cykli pracy, takich jak rozpieranie, rabowanie oraz przekładka przenośnika obudowy [8].

W kolejnym etapie przebadano zachowanie pojedynczej sekcji w warunkach obciążeń asymetrycznych. Badanie to umożliwiło ocenę przyjętych algorytmów sterowania pojedynczą sekcją. W czasie badań sekcja obudowy znajdowała się w specjalnie zaprojektowanej ramie, która pozwoliła na rozparcie obudowy z maksymalną podpornością. Widok tej ramy zaprezentowano na rysunku 4.3.



Rys. 4.3. Badania sekcji w ramie [8]

Stany obciążenia asymetrycznego zostały wywołane przez ustawienie na powierzchni stropnicy belek stalowych, a następnie rozparcie obudowy w konstrukcji ramy.

Przeprowadzone badania stanowiskowe pozwoliły na pozytywną weryfikację konstrukcji sekcji i umożliwiły zdefiniowanie końcowych założeń i wytycznych dla prototypu sekcji obudowy nowego typu, zwłaszcza w zakresie układu sterowania sekcją [8].

Interesujące badania obciążenia dynamicznego stojaka hydraulicznego przeprowadzono na specjalnym kafarowym stanowisku badawczym w Instytucie Lotnictwa w Nowosybirsku [42]. Stanowisko to przeznaczone jest do symulacji obciążenia działającego na podwozie samolotu. Obciążenie dynamiczne działające na stojak generowano za pomocą bijaka o masie 100 t opuszczanego z niewielkiej wysokości – rzędu 10^{-3} m. Pomimo niewielkiej energii uderu bijaka odnotowano znaczne przyrosty ciśnienia cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaka.

5. Analiza wymagań normatywnych dotyczących sekcji obudowy zmechanizowanej

Wymagania bezpieczeństwa dla sekcji obudowy zmechanizowanej ujęto we wdrożonej w Polsce do stosowania normie PN-EN 1804-1+A1:2011 [21], mającej status normy zharmonizowanej z Dyrektywą Maszynową. Poza Unią Europejską stosowane są wymagania amerykańskie, dotyczące badań sekcji obudowy według metody CONSOL (Consolidation Coal Company) [16] oraz rosyjskie, według normy GOST R 52152-2003 [4].

Poniżej porównano wymagania stosowane w Unii Europejskiej z wymaganiami amerykańskimi i rosyjskimi [10].

5.1. Warunki obciążenia podstawowych elementów sekcji

Według wymagań normy europejskiej belki obciążające powinny mieć takie wymiary, żeby nie przekroczyć nacisku jednostkowego 220 kPa. Dla prób o charakterze zginającym belka obciążająca powinna mieć 150 mm szerokości. Długość belki powinna obejmować całą szerokość badanego podzespołu. Dla prób o charakterze skręcającym belka powinna mieć szerokość 200 mm i długość obejmującą 25% szerokości badanego elementu sekcji obudowy. W przypadku przekroczenia wartości nacisku jednostkowego 220 kPa, szerokość belki powinna być odpowiednio powiększona.

Sekcję bada się przy wysokości rozparcia, przy której występują maksymalne wartości obciążenia elementów sekcji obudowy.

Wymiary belek obciążających i wysokość rozparcia sekcji określa się na podstawie wyników obliczeń statycznych obudowy.

Według wymagań metody CONSOL belki używane do prób obciążeniowych powinny być zwymiarowane tak, aby można było obciążyć je do $1,5 \div 1,7$ US tony na cal kw. ($210 \div 230$ kPa). Materiał na belki obciążające powinien być tak dobrany, aby zapewniał równomierne obciążenie. Wysokość belek obciążających powinna być dostosowana do ugięcia podstawowych elementów sekcji obudowy podczas badań. Spągnice dzielone powinny być badane na belkach o grubości 100 mm, a niepodparte brzegi spągnicy nie mogą stykać się z podłożem stanowiska. Belki specjalne o innych wymiarach i wykonane z innego materiału powinny być opisane dla poszczególnych przypadków badań.

Sekcje obudowy bada się przy wysokości rozparcia, przy której występują maksymalne wartości obciążenia elementów sekcji obudowy.

Według wymagań metody rosyjskiej obciążenie badanych elementów (stropnice, spągnice) powinny odbywać się poprzez belki obciążające, o szerokości 100÷150 mm.

Wyjściowa wysokość sekcji powinna być określona w RPM (roboczy program i metodyka badań), zgodnie z dokumentacją konstrukcyjną.

5.2. Badania podstawowych elementów sekcji

5.2.1. Wytrzymałość statyczna

Według wymagań normy europejskiej podczas realizacji obciążeń symetrycznych podstawowych elementów sekcji obudowy stosuje się współczynnik przeciążenia $p/p_N = 1,2$, natomiast dla obciążeń asymetrycznych współczynnik przeciążenia $p/p_N = 1,05$.

Obciążenie sekcji obudowy rozpartej w stanowisku badawczym uzyskuje się poprzez zasilanie ciśnieniem cieczy przestrzeni podtłokowych stojaków i podpory stropnicy bądź może być wywołane aktywnym działaniem stropu stanowiska.

Metoda CONSOL nie przewiduje prób obciążeniowych jednokrotnych dla podstawowych elementów sekcji (stropnica, spągnica).

Według wymagań metody rosyjskiej badania statyczne podstawowych elementów sekcji obudowy prowadzi się stosując współczynnik przeciążenia p/p_N do 1,2.

5.2.2. Wytrzymałość zmęczeniowa

Według wymagań normy europejskiej badania wytrzymałości zmęczeniowej sekcji przeprowadza się dla różnych wariantów podparcia, przy obciążeniu przestrzeni podtłokowej stojaków i przestrzeni nadłokowej podpory stropnicy ciśnieniem cieczy w zakresie od 0,25 p_N do 1,05 p_N .

Dla sekcji dwustojakowych wykonuje się 26 000 cykli obciążeniowych, a dla sekcji czterostojakowych 30 000 cykli obciążeniowych, wśród których wyróżnia się:

- próbę zginania,
- próbę skręcania,
- próbę przy obciążeniu asymetrycznym,
- próbę z poziomym obciążeniem obudów osłonowych – pozioma siła działająca na stropnicę wynosi 0,3-krotności siły pionowej.

Według wymagań metody CONSOL badania wytrzymałości zmęczeniowej sekcji przeprowadza się dla różnych wariantów podparcia, przy obciążeniu przestrzeni podtłokowej stojaków ciśnieniem w zakresie od 5 MPa do 1,12 p_N na każdy cykl obciążeniowy.

Program badań obejmuje minimum 60 000 cykli obciążeniowych dla stropnicy, spągnicy, osłony odzawałowej i łączników, zgodnie z opisem prób obciążeniowych (tab. 5.1).

Próby wytrzymałości zmęczeniowej wg metody CONSOL [16]

Tabela 5.1

Test	Rodzaj obciążenia		Liczba cykli
	Stropnica	Spągnica	
1- Wysoki	Zginanie dwukierunkowe	Zginanie	4 000
1-Niski	Zginanie dwukierunkowe	Zginanie	4 000
2	Zginanie	Obciążenie końca spągnicy	20 000
3	Max. zginanie i skręcanie	Zginanie	8 000
4	Max. skręcanie	Wklęsłość i zginanie	4 000
5	Skręcanie osłon bocznych	Max. skręcanie	4 000
6	Zginanie	Obciążenie poprzeczne	4 000
7	Zginanie	Obciążenie trzypunktowe	4 000
8	Zginanie poprzeczne	Obciążenie krawędzi	4 000
9	Wgłębianie przegubu	Asymetryczne obciążenie krawędzi	4 000
Suma liczby cykli			60 000

Po zakończeniu każdych 500 cykli obciążenia kontroluje się badane elementy pod kątem wystąpienia ewentualnych pęknięć i trwałych odkształceń.

Badanie, które spowodowało uszkodzenia powinno być powtórzone. Powtórzenie badań wcześniejszych nie jest wymagane chyba, że modyfikacje postaci konstrukcyjnej sekcji zredukowały wytrzymałość w odniesieniu do poprzednich badań. Pomiary przemieszczeń wybranych punktów powinny obejmować elementy przed i po modyfikacji. Kryteria dopuszczalnych odkształceń plastycznych powinny pozostać niezmienione, aczkolwiek można uzgodnić inne wartości kryterialne po konsultacji z CONSOL.

Pomiary odkształceń są wymagane dla wszystkich obciążeń zginających dla stropnicy i spągnicy.

Według wymagań normy rosyjskiej badania wytrzymałości zmęczeniowej przeprowadza się dla różnych wariantów podparcia (wg rys. 1 ÷ 10 normy GOST R 52152-2003) [4] przy obciążeniu przestrzeni podtłokowej stojaków ciśnieniem w zakresie od $0,25 p_N$ do $1,05 p_N$. Częstotliwość obciążenia nie powinna przekraczać 0,1 Hz. Liczba cykli obciążeniowych powinna wynosić co najmniej 8 000.

5.2.3. Podatność, podporność

Zgodnie z normą europejską próba ta polega na wykonaniu zsuwu sekcji, przy działaniu siły nominalnej. Pomiary wykonuje się dla trzech różnych wysokości sekcji, odpowiadających górnemu, środkowemu i dolnemu fragmentowi zakresu pracy obudowy. Droga zsuwu w każdej z wykonanych serii pomiarowych powinna wynosić co najmniej 100 mm, przy maksymalnej prędkości 100 mm/min. Dla testu przeprowadzonego bez uwzględnienia siły tarcia, pozioma siła wywierana przez sekcję obudowy osłonowej powinna być ograniczona do 0,3 wartości siły nominalnej.

Badanie przeprowadzane według pkt. A.1.2.4 normy to przede wszystkim badanie wytrzymałości łączników układu lemniskatowego. Na stropnicy sekcji montuje się urządzenie rolkowe, za pomocą którego generowana jest określona siła pozioma. Środek urządzenia rolkowego powinien znajdować się w miejscu działania wypadkowej siły podporności.

Nastawienie bloków zaworowych stojaków i podpory stropnicy powinno być na poziomie maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego. Siła nominalna nie powinna być przekroczona o więcej niż 20%. Metoda CONSOL nie przewiduje tego typu próby.

Według normy GOST R 52152-2003 podporność sekcji należy określać na stanowisku badawczym zapewniającym obciążenie sekcji siłami zewnętrznymi, poprzez siłomierze. Dla sekcji obudowy osłonowej podporność należy wyznaczyć przy dwóch układach obciążenia:

- przy oddziaływaniu tylko siły pionowej, odpowiadającej osiągnięciu ciśnienia w przestrzeniach podtłokowych stojaków, równemu nominalnemu ciśnieniu nastawienia zaworów roboczych,
- przy jednoczesnym oddziaływaniu siły pionowej i poziomej. Wartość poziomego obciążenia przyjmuje się jako 30% obciążenia pionowego.

Do wykonania tej próby norma przewiduje urządzenie rolkowe. Prędkość obciążenia powinna wynosić 20 mm/min.

Jako kryterium zgodności należy uważać dopuszczalną odchyłkę zmierzonej podporności od nominalnej podanej w dokumentacji technicznej w granicach $\pm 5\%$ o ile nie są podane w dokumentacji inne wymagania.

5.3. Pozostałe badania

Oprócz prób obciążeniowych podstawowych elementów sekcji obudowy opisanych powyżej, przeprowadza się również badania, takie jak:

Według normy europejskiej:

- badania współpracy sekcji obudowy pracujących w złożach o nachyleniu większym niż 30° ,
- badania punktów podnoszenia i przesuwania sekcji obudowy - punkty te przeciąża się siłą 4-krotnie większą od siły nominalnej, przy której nie powinny wystąpić żadne uszkodzenia,
- badania stropnic wysuwnych – stropnicę wychylno-wysuwną obciąża się maksymalną siłą działającą na ten element, wynikającą z postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy (nastawy bloków zaworowych, usytuowania siłowników w sekcji),
- badania poprawności działania układu hydraulicznego – polegające na sprawdzeniu funkcjonowania układu hydraulicznego, poprzez rozpieranie wszystkich stojaków i siłowników do ich krańcowych położen,
- badanie elementów mocowania stojaków i siłowników z siłą rozciągającą i ściskającą o wartości równej 1,5-krotności odpowiedniej siły nominalnej, w najbardziej niekorzystnym położeniu,
- określenie wymiarów swobodnego przejścia w obudowie.

Według metody CONSOL:

- badania zabezpieczenia stojaków,
- przeciążenie gniazda stojaka - cylindry stojaka są poddane 1,5-krotnemu ciśnieniu roboczemu,
- współpraca sekcji z przenośnikiem ścianowym - próby przy maksymalnym odchyleniu sekcji w lewo, bądź w prawo, na tyle na ile pozwala łączenie i belka układu przesuwne, a przenośnik ścianowy wygina się w prawo bądź w lewo,
- określenie zakresu wysokości stosowania,
- przeciążenia układu przesuwnika,
- przeciążenia układu podnoszenia spągnic,

- badania zmęczeniowe (10 000 cykli) systemu podnoszenia spągnic/belki układu przesuwne.

Według normy rosyjskiej GOST R 52152-2003 [4]:

- szczelność układu hydraulicznego,
- sprawdzenie funkcjonalności sekcji bez obciążenia,
- sprawdzenie wysokości sekcji – pomiar $H_{\max}$ i $H_{\min}$,
- badania podporności sekcji na końcu stropnicy - badania według rysunków 1 i 2 normy GOST R 52152-2003 [4],
- określenie współczynnika rozparcia wstępnego – obliczeniowo na podstawie pomiaru ciśnienia zasilającego stojaki i ciśnienia zadziałania zaworu bezpieczeństwa,
- pomiar skoku przesuwu sekcji,
- pomiar maksymalnej siły przy przesuwie sekcji,
- określenie wymiarów swobodnego przejścia w obudowie,
- test stabilności:
 - przy nachyleniu wzdłużnym do 10° - sprawdzana jest stateczność układu co najmniej 3 sekcji połączonych z przenośnikiem w trakcie 3 do 6 cykli pracy sekcji, przy czym powierzchnia stanowiska jest pozioma,
 - przy nachyleniu wzdłużnym powyżej 10° - wykonywany jest analogiczny test ale na pochylonym stanowisku.

5.4. Ocena wyników badań

Wymagania według normy europejskiej

Po zakończeniu prób nie powinno być pęknięć w materiale rodzimym żadnego z elementów sekcji obudowy. Nie dopuszcza się występowania pęknięć w spoinach ani odkształceń trwałych obniżających parametry techniczne sekcji obudowy.

Podstawę dla oceny wyników badań - ustanowione przez laboratorium badawcze - mogą stanowić:

- obserwacje wizualne, po każdej serii obciążeń ze szczególnym uwzględnieniem stanu technicznego spoin, odkształceń sworzni, owalności otworów i ewentualnych pęknięć elementów sekcji,
- wyniki pomiarów strzałek ugięcia elementów nośnych (stropnica, osłona odzawałowa, spągnica) w trakcie prób obciążeniowych,

- wyniki pomiaru płaskości płaszczyzn elementów sekcji obudowy przed rozpoczęciem obciążeń i po ich zakończeniu w celu określenia odkształceń trwałych.

Wymagania według CONSOL

Po przeprowadzeniu całego programu badań obciążeniowych, sekcję należy zdemontować i przeprowadzić inspekcję według następującego porządku:

- wizualne (organoleptyczne) sprawdzenie wszystkich ewentualnych pęknięć,
- spoiny w stropnicy i przy gniazdach stojaków oczyszcza się z farby i sprawdza się czy występują pęknięcia (za pomocą metod nieniszczących tj.: ciecz do wykrywania pęknięć powierzchniowych, metoda magnetyczna lub metoda ultradźwiękowa),
- po przeprowadzeniu kontroli wizualnej – ewentualny przegląd dokumentacji oraz prototypu.

Badaniom konstrukcji podlega obrys sekcji prototypowej, mierzony przed i po przeprowadzeniu badań obciążeniowych. Celem tych badań jest ustalenie sumy odkształceń trwałych, po przeprowadzonych badaniach.

Kryteria dopuszczeniowe:

- nie dopuszcza się występowania pęknięć spoin lub materiału,
- zestawienie dopuszczalnych plastycznych odkształceń dla badań sekcji obudowy jest następujące:
 - przekrój sekcji (prostokątność obudowy) – 6 mm,
 - dopuszczalne plastyczne odkształcenie stropnicy – od 2 do 15 mm,
 - dopuszczalne plastyczne odkształcenie osłony odzawałowej – od 3 do 4 mm,
 - dopuszczalne odkształcenie plastyczne spągnicy dzielonej – od 2 do 4 mm,
 - dopuszczalne odkształcenie plastyczne spągnicy sztywnej – od 3 do 5 mm,
 - trwałe odkształcenie pochodzące od zginania lub wyboczenia jakiegokolwiek punktu umieszczonego w systemie przesuwym przesuwnika sekcji jest niedopuszczalne,
 - trwałe odkształcenie systemu podnoszenia spągnic traktowane jest jako uszkodzenie sekcji,

- całkowite odkształcenie w połączeniu przegubowym, w każdej płaszczyźnie pomiarowej nie może być większe niż 2 mm,
- jeśli sekcja nie przeszła pozytywnie części 1,2 lub 3 badań, to po naprawie i/lub modernizacji musi przejść ponownie całe badania i musi uwzględniać standardy dopuszczeniowe,
- nie zezwala się na przecieki zewnętrzne lub zakłócenia wewnętrznych przepływów w hydraulice siłowej.

Wymagania według normy rosyjskiej GOST R 52152-2003 [4]:

Podstawowe sposoby sprawdzenia wytrzymałości:

- pomiar odkształcenia badanej konstrukcji poprzez kontrolę strzałki ugięcia,
- pomiar przestrzennego odkształcenia badanej konstrukcji,
- wizualna, lub z zastosowaniem przyrządów, kontrola spawów,
- pomiar odkształceń zewnętrznych spągnicy i stropnicy w strefie stojaków,
- ocena stanu sekcji po badaniach i po demontażu.

Warunkami dopuszczenia do użytkowania jest brak pęknięć i uszkodzeń po obciążeniach oraz brak nieodwracalnych, w tym przestrzennych, odkształceń. Przy obciążeniach próbnych dopuszcza się pojawienie nieznacznych odkształceń nie prowadzących do utraty własności eksploatacyjnych. Warunki tych odkształceń powinny być podane w dokumentacji konstrukcyjnej i w RPM.

5.5. Porównanie wymagań normy PN-EN 1804-1 z wymaganiami normatywnymi obowiązującymi w innych krajach [10]

Na podstawie przedstawionych trzech metod badań sekcji obudowy zmechanizowanej można stwierdzić, że występujący w wymaganiach normatywnych maksymalny współczynnik przeciążenia podczas badań obciążeniowych wynosi od 1,12 dla wymagań amerykańskich (w próbach zmęczeniowych) do 1,2 dla wymagań europejskich i rosyjskich (przy przeciążeniu statycznym) [10].

Według wymagań europejskich i CONSOL dobór belek obciążających jest podobny i odbywa się tak, aby nie przekroczyć nacisków jednostkowych (220 kPa według PN-EN 1804-1+A1:2011 i 210 kPa do 230 kPa wg CONSOL), natomiast wymagania rosyjskie określają szerokości tych belek od 100 do 150 mm [10].

Podobne są również obciążenia cyklicznie zmienne podczas badań wytrzymałości zmęczeniowej: według wymagań europejskich i rosyjskich są takie same i zmieniają się w zakresie od 0,25 do 1,05 p_N, natomiast według wymagań CONSOL w zakresie od 5 MPa do 1,12 p_N.

Liczba cykli obciążenia różni się i wynosi od 60 000 według wymagań CONSOL, 26 000 wg wymagań europejskich i co najmniej 8 000 według wymagań normy rosyjskiej.

Wymagania europejskie i rosyjskie przewidują próby z obciążeniem poziomym, do wartości 0,3 obciążenia pionowego, podczas badań podporności (podatności) sekcji. Norma europejska w swoim zakresie badań ma również badania zmęczeniowe z obciążeniem poziomym. Próby powinny być tak przeprowadzone, aby siła pozioma na stropnicy sekcji obudowy osłonowej wynosiła 0,3-krotności siły poziomej. Metoda CONSOL również przewiduje próby zmęczeniowe z siłą poziomą na stropnicy i spągnicy (bez określenia jej wartości).

Wymagania metody CONSOL bardzo szczegółowo precyzują jakie wartości odkształceń poszczególnych elementów sekcji są dopuszczalne po próbach obciążeniowych.

W normie europejskiej określono jedynie, że nie powinno być pęknięć w materiale rodzimym żadnego z elementów sekcji obudowy i nie dopuszcza się występowania pęknięć w spoinach ani odkształceń trwałych obniżających parametry techniczne sekcji obudowy.

Norma rosyjska odnośnie dopuszczalnych wartości odkształceń poszczególnych elementów sekcji, jakie występują po próbach obciążeniowych, odsyła do dokumentacji technicznej lub RPM w zastosowaniu do konkretnej konstrukcji.

Możliwości techniczne stanowisk badawczych KOMAG-u pozwalają sprawdzić wszystkie podstawowe elementy sekcji obudowy pod względem wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej oraz funkcjonalnym w zakresie przewidzianym w normie PN-EN 1804-1+A1:2011 jak również według metodyki CONSOL i normy GOST P 52152-2003.

Na szczególną uwagę zasługuje możliwość realizacji prób podatności (zsuwu) sekcji obudowy (dla badania układu lemniskatowego) w całym zakresie wysokości.

Wymagania normy PN-EN 1804-1+A1:2011 zawierają w sobie wymagania normy rosyjskiej GOST P 52152-2003 tzn. spełniając wymagania normy

europejskiej spełnia się tym samym wymagania normy rosyjskiej z tym, że konieczne jest wykonanie [10]:

- dodatkowych badań podporności sekcji zgodnie z pkt. 13.2 normy GOST P 52152-2003
- badań, podczas których wymagane jest stosowanie belek podpierających o wymiarach różnych od wymiarów ujętych w normach europejskich.

6. Podsumowanie

Potencjał badawczy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG, którego rozwój w odniesieniu do badań sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów przedstawiono w niniejszej monografii umożliwił, w przeciągu minionych 40 lat, wykonywanie różnorodnych testów.

Przytłaczająca większość przeprowadzonych testów dotyczyła sprawdzenia wymagań normatywnych zarówno, w odniesieniu do nowoprojektowanych sekcji obudowy zmechanizowanej, jak również dotyczących sekcji już użytkowanych – modernizowanych, remontowanych bądź poddawanych badaniu technicznemu przed zainstalowaniem w uruchamianym wyrobisku ścianowym.

Jak wynika z informacji zawartych w rozdziale 3. Laboratorium Badań w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG należy do bardzo wąskiego grona jednostek badawczych, w których można zrealizować kompletny zakres badań ujętych w normie PN-EN 1804-1. Pozytywny wynik badań stanowi potwierdzenie spełnienia wymagań bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego przez typy sekcji poddanych badaniom.

Z porównania wymagań normy PN-EN 1804-1, normy rosyjskiej GOST R52152-2003 i amerykańskiej metody CONSOL wynika, że generalne wymagania zawarte w tych dokumentach są porównywalne, a różnice dotyczą często szczegółowych zapisów odnośnie do warunków przeprowadzania poszczególnych testów, np.: szerokości belek podporowych. Parametry techniczne stanowisk badawczych w Laboratorium Badań ITG KOMAG umożliwiają realizację procedur badawczych zgodnych z dowolną spośród trzech norm analizowanych w rozdziale 3.4. Przykładem badań zrealizowanych zgodnie z wymaganiami metody CONSOL są badania sekcji typu BETH 1,1/1,9, produkcji amerykańskiej.

Istotna część badań sekcji obudowy zmechanizowanej dotyczyła badań o charakterze poznawczym. Szczególnie często badania tego rodzaju przeprowadzano w latach 80-tych ubiegłego wieku. Burzliwy rozwój konstrukcji obudowy zmechanizowanej spowodował konieczność doświadczalnej weryfikacji zastosowanych metod projektowania, sprawdzenia czy sekcja osiągnęła zakładane parametry techniczne i cechy funkcjonalne. W tym zakresie pracownicy Laboratorium Badań przyczynili się do rozwoju i doskonalenia konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej.

Osobny rozdział w grupie badań o charakterze poznawczym stanowią testy, których wyniki wykorzystano do weryfikacji: modeli matematycznych, hipotez badawczych, czy uproszczonych modeli obliczeniowych. Wykonanie tych badań

wymagało niejednokrotnie innowacyjnego podejścia pracowników Laboratorium Badań do wykonywanych zadań. Ta grupa badań wymagała bowiem zastosowania specjalistycznej aparatury pomiarowej, zaprojektowania i wykonania dodatkowego osprzętu stanowisk badawczych, czy też realizacji nietypowych procedur badawczych i wysokich wymagań dotyczących dokładności i powtarzalności wyników pomiarów. O wysokim poziomie przeprowadzonych badań niech świadczy wykorzystanie uzyskanych wyników pomiarów w pracach doktorskich zrealizowanych przez pracowników KOMAG-u i Politechniki Śląskiej, projektach badawczych krajowych i europejskich. Przykłady tych badań przedstawiono w rozdziale 2 monografii.

Dzięki zaangażowaniu pracowników Laboratorium Badań jego potencjał badawczy, stale rozbudowywany i unowocześniany przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa technicznego sekcji użytkowanych w polskim górnictwie oraz do realizacji innowacyjnych prac badawczych dotyczących ścianowej obudowy zmechanizowanej.

Obecnie w Europejskim Komitecie Normalizacyjnym (CEN) TC 196 trwają prace nad nowelizacją norm serii EN 1804. Prace zmierzają głównie w kierunku uaktualnienia obowiązujących norm, zmiany lub usunięcia punktu A.1.2.4 normy 1804-1, dotyczącego badania podporności roboczej przy aktywnym działaniu stropu stanowiska oraz określenia wymagań bezpieczeństwa i procedur sprawdzenia dla elektrohydraulicznych elementów układu sterowania.

Przedstawiciele KOMAG-u aktywnie uczestniczą w pracach grupy roboczej (M/396) Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego (CEN).

Literatura

- [1] Dokumentacja fotograficzna KOMAG
- [2] Domagała Z., Marianowski J.: Modelowanie zjawisk dynamicznych zachodzących w dwustopniowych stojakach hydraulicznych. Napędy Sterowanie 2014 nr 7/8 s. 130-137
- [3] Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej
- [4] GOST P 52152-2003: Ścianowe obudowy zmechanizowane. Podstawowe parametry. Ogólne wymagania techniczne. Metodyka badań
- [5] Kalukiewicz A., Marianowski J.: Nowe rozwiązania zabezpieczenia funkcjonowania upodatkowanej obudowy zmechanizowanej. W: Materiały na konferencję: VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Innowacyjne maszyny i technologie. Bezpieczeństwo, Szczryk, 3-4 lutego 2011 s. 4 nienumerowane
- [6] Kalukiewicz A., Marianowski J., Kipczak P.: Konstrukcja i wyniki badań nowego rozwiązania zaworu upustowego dla upodatkowania obudowy zmechanizowanej. W: TUR 2011, Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2011 s. 235-243
- [7] Kalukiewicz A., Marianowski J., Kipczak P.: Wykorzystanie prasy kuźniczej do badań stojaków obudowy zmechanizowanej o dużej podporności. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo – Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2010, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2010 s. 405-414
- [8] Krauze K., Rączka W., Stopka G.: Projekt i badania stanowiskowe nowego typu obudowy zmechanizowanej do pokładów cienkich. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering. No. 1 (537) 2019
- [9] Madejczyk W.: Badania stanowiskowe sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów. Zmechanizowane obudowy ścianowe dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu. Praca zbiorowa pod redakcją Kazimierza Stoińskiego. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2018, s. 39-71
- [10] Madejczyk W.: Porównanie metod badań sekcji obudowy zmechanizowanej według wymagań europejskich, amerykańskich i rosyjskich. Maszyny Górnicze 2008 nr 3 (115)

- [11] Madejczyk W., Tokarczyk J.: Analiza wytrzymałości cylindrów stojaków dwuteleskopowych z wierconymi wzdłużnie otworami. *Maszyny Górnicze*. 2003, nr 93
- [12] Markowicz J.: Badanie obciążeń ruchowych obudowy zmechanizowanej w ścianie badawczej Kopalni K1. *Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej*, Z. 20 s. 109-116, S. Konferencje, VIII ZSMG, Wrocław 1986.
- [13] Markowicz J., Szweda S., Nordin W.W.: Analiz izmienчивosti gorizontał'nych sil' v miekchanizirovannoj krep'i. w: *Novye sredstva miekchanizacii gor'nych i stroitel'nych rabot*. Sbornik nauc'nych trudov. Karagandskij Politechnic'eskij Institut. Karaganda 1990 r. s. 11-14.
- [14] Markowicz J.: Wyznaczenie obciążeń ruchowych ścianowych obudów zmechanizowanych z prowadzeniem lemniskatowym poprzez badania sił w wybranych elementach sekcji. *Praca doktorska*. Politechnika Śląska Wydział Górnictwa i Geologii Gliwice 1985 r.
- [15] Mazurek K., Szweda S.: Wpływ parametrów akumulatora gazowego na wielkości charakteryzujące zmianę ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka hydraulicznego. *Prace naukowe 28 – Monografie CMG KOMAG*. Gliwice 2008
- [16] *Metodyka CONSOL Energy*. Wymagania testów strukturalnych dla obudów ścianowych
- [17] Niesyto H.: Badania stanowiskowe konstrukcji zestawu obudowy zmechanizowanej GLINIK-18/41-POz na zgodność z wymaganiami Normy Europejskiej. *Maszyny Górnicze* 2001 nr 1.
- [18] Orłóś Z.: *Doświadczalna analiza odkształceń i naprężeń*. Warszawa: PWN, 1977
- [19] PN-G-15537: 1999. Górnicza obudowa zmechanizowana. Stojaki hydrauliczne. *Badania*
- [20] PN-G-15530: 1996. Górnicza obudowa zmechanizowana. Stojaki hydrauliczne. *Wymagania*
- [21] PN-EN 1804-1+A1:2011 *Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne*
- [22] PN-EN 1804-2+A1:2012 *Maszyny dla górnictwa podziemnego - Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej - Część 2: Stojaki i pozostałe siłowniki*

- [23] PN-EN 1804-3+A1:2012 Maszyny dla górnictwa podziemnego - Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej - Część 3: Hydrauliczne układy sterowania
- [24] PN-93/G-50000 Maszyny i urządzenia górnicze. Ogólne wymagania bezpieczeństwa i ergonomii
- [25] PN-G-50041: 2000 Ochrona pracy w górnictwie. Obudowy ścianowe zmechanizowane. Wymagania bezpieczeństwa i ergonomii. Wymagania
- [26] Procedura badawcza PB-DLB/10: Badania sekcji obudowy zmechanizowanej. ITG KOMAG. Wydanie 1 z 01.02.2019 r. (materiały niepublikowane)
- [27] Pytlik A.: Odporność dynamiczna kotwi górniczych. Bezp. Pr. Ochr. Śr. Gór. 2015 nr 4 s. 28-35
- [28] Pytlik A.: Tests on hydraulic props equipped with yield valves at dynamic load modelling a rock burst. Arch. Gór. 2018 nr 2 s. 477-489
- [29] Sprawozdanie nr 94/DLB-1/2005: Badania dynamiczne stojaków hydraulicznych $\varnothing$ 200 wykonanych wg dokumentacji W33.031/1 i W33.033/1. Laboratorium Badań CMG KOMAG, listopad 2005 r. (materiały niepublikowane).
- [30] Sprawozdanie nr 81/DLB-2/2007: Badania laboratoryjne zaworów zwrotnych sterowanych typu ZSI, ZSIX, ZSII I ZSIIX. Laboratorium Badań CMG KOMAG, październik 2007 r. (materiały niepublikowane)
- [31] Sprawozdanie nr 26/DLB-1/2008: Badania stanowiskowe sekcji obudowy EMP 150-360. Laboratorium Badań ITG KOMAG, marzec 2008 r. (materiały niepublikowane)
- [32] Sprawozdanie nr 63/DLB-1/2018: Badania stanowiskowe sekcji obudowy HYDROMEL-16/41-POz oraz sekcji obudowy HYDROMEL-16/41-POz/BSN. Laboratorium Badań ITG KOMAG, lipiec 2018 r. (materiały niepublikowane)
- [33] Sprawozdanie nr 64/DLB-2/2017: Badania stanowiskowe stojaka hydraulicznego i podpory stropnicy sekcji obudowy PV-2S-3960-22/34 i sekcji obudowy PV-2S-3960-POD.STR. Laboratorium Badań ITG KOMAG, lipiec 2017 r. (materiały niepublikowane)
- [34] Sprawozdanie nr 2/DLB-2/2010: Badania stanowiskowe stojaka hydraulicznego $\varnothing$ 400. Laboratorium Badań ITG KOMAG, styczeń 2010 r. (materiały niepublikowane)
- [35] Sprawozdanie nr 23/DLB-1/2004: Badania stanowiskowe weryfikujące metodę wyznaczania wektora wypadkowego obciążenia sekcji

- obudowy. Laboratorium Badań CMG KOMAG, lipiec 2004 r. (materiały niepublikowane)
- [36] Sprawozdanie nr 139A/DLB-2/2009: Badania stanowiskowe zaworu hydraulicznego typu A sekcji obudowy EMP 150-360. Laboratorium Badań ITG KOMAG, październik 2009 r. (materiały niepublikowane)
- [37] Sprawozdanie nr 46/DLB-2/2016: Badania stojaka hydraulicznego wg rys. WU33.1661. Laboratorium Badań ITG KOMAG, kwiecień 2016 r. (materiały niepublikowane)
- [38] Sprawozdanie nr 90/DLB-2/2014: Badania wzbudzania układu podpornościowego stojaka hydraulicznego podczas jego rabowania. Laboratorium Badań ITG KOMAG, sierpień 2014 r. (materiały niepublikowane)
- [39] Sprawozdanie nr 37/DLB-1/2002: Stanowiskowe badania obudowy ZBMD-12/31-POz weryfikujące obliczenia MES. Laboratorium Badań CMG KOMAG, grudzień 2002 r. (materiały niepublikowane)
- [40] Stoiński K. i inni: Projekt Badawczy NR 5 T12A 043 24 pt.: Identyfikacja wektora obciążenia zewnętrznego sekcji obudowy zmechanizowanej w warunkach dynamicznego oddziaływania górotworu. Sprawozdanie końcowe. Instytut Mechanizacji Górnictwa, Politechnika Śląska, (praca niepublikowana) Biblioteka IMG Pol. Śl. Gliwice 2004.
- [41] Stoiński K., Madejczyk W.: Stojaki dwuteleskopowe z wierconymi płaszczami cylindrów. Prace naukowe nr 6. CMG KOMAG Gliwice, 2004
- [42] Stoiński K.: Obudowy górnicze w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2000
- [43] Szuścik W., Kuczyński J., Szweda S.: Doskonalenie obudów zmechanizowanych. Etap II. Prace Zespołu Zastosowań Mechaniki w Górnictwie Instytutu Mechanizacji Górnictwa Pol. Śl. Gliwice 1977. (Praca niepublikowana) Biblioteka IMG
- [44] Szuścik W., Kuczyński J.: Wytrzymałość materiałów Część 2. Wydanie VII. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998 r.
- [45] Szweda St.: Loadings of legs in sections of mechanised supports by dynamic movements of roof and floor. Archives of Mining Sciences 2001, nr 46, (3)
- [46] Szweda S.: Nośność elementów płytowych obudów podporowo-osłonowych. Praca doktorska, maszynopis, Politechnika Śląska, Wydział Górniczy Gliwice 1981. Biblioteka Główna

- [47] Tymczasowe wymagania, wytyczne konstruowania oraz prowadzenia badań laboratoryjnych i prób eksploatacyjnych obudów zmechanizowanych dla dopuszczenia typu do produkcji i stosowania. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki. Katowice, grudzień 1984
- [48] Warachim W. Metoda pomiaru energii pochłanianej przez zestaw obudowy zmechanizowanej przy obciążeniu dynamicznym. Materiały konferencyjne. Ustroń-Jaszowiec, kwiecień 1990
- [49] Winkler T. i in.: Metodyka doświadczalnych badań weryfikacyjnych dla obliczeń metodą elementów skończonych w projektowaniu maszyn. Obliczenia MES dla stanów obciążenia i warunków podparcia maszyn badanych na stanowisku doświadczalnym. CMG KOMAG Gliwice 2002 (materiały niepublikowane)
- [50] Winkler T. i in.: Metodyka doświadczalnych badań weryfikacyjnych dla obliczeń metodą elementów skończonych w projektowaniu maszyn. Opracowanie planu badań doświadczalnych. CMG KOMAG Gliwice 2002 (materiały niepublikowane)
- [51] Wymagania konstrukcyjne i wytrzymałościowe dla obudów zmechanizowanych. CMG KOMAG, Gliwice 1998 r.
- [52] mpanrw.de (data dostępu 11.10.2019)
- [53] tlo.cz (data dostępu 11.10.2019)

Badania stanowiskowe sekcji obudowy zmechanizowanej oraz jej elementów

Streszczenie

W monografii przedstawiono potencjał badawczy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG dedykowany do badań kompletnych sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów. Omówiono rodzaje badań sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów oraz stosowane metody badawcze. Opisano przykładowe prace badawcze realizowane od ponad 40 lat.

W obszarze badań o charakterze poznawczym zilustrowano badania wyężenia sekcji przy obciążeniu statycznym, badania weryfikujące metody wyznaczania obciążenia zewnętrznego sekcji oraz badania przy obciążeniu dynamicznym.

Badania wytrzymałościowe weryfikujące odpowiednie obliczenia teoretyczne prowadzono przy wykorzystaniu metody tensometrycznej dla kompletnej sekcji obudowy zmechanizowanej i stojaka dwuteleskopowego oraz metody kruchych pokryw w przypadku określenia nośności granicznej osłony odzawałowej.

Procedurę stanowiskowych badań weryfikujących wyniki obliczeń przedstawiono na przykładzie badań sekcji obudowy ZBMD-12/31-POz. Badana sekcja charakteryzowała się wysokim stopniem zużycia elementów nośnych. Porównanie wyników pomiarów odkształceń elementów sekcji obudowy zmechanizowanej zarejestrowanych przez tensometry z wynikami obliczeń wykonanych z użyciem modelu MES, świadczy o konieczności równoległego prowadzenia badań doświadczalnych i analiz wytrzymałościowych w procesie oceny stanu technicznego użytkowanej uprzednio sekcji obudowy.

Przedstawiono analizę wyężenia dwuteleskopowego stojaka hydraulicznego z otworem konstrukcyjnym wierconym wzdłuż płaszcza cylindra, który prowadzi do miejscowego osłabienia ścianki cylindra i uszkodzania w krótkim okresie użytkowania, co potwierdziły wyniki badań kilkudziesięciu tego typu stojaków. W celu analizy odkształceń rury cylindra w trakcie badań wytrzymałościowych stojaków wykonano pomiary obwodowych wydłużeń względnych na powierzchni zewnętrznej rury. Uzyskane wyniki pomiarów wykonanych na stanowisku porównano z wynikami obliczeń numerycznych metodą MES, potwierdzając zasadność stosowania tej metody, zwłaszcza w miejscach, gdzie niemożliwy jest bezpośredni pomiar.

Badania nośności granicznej osłony odzawałowej z zastosowaniem kruchych pokryw prowadzono na specjalnie wykonanym stanowisku badawczym, umożliwiającym zrealizowanie w osłonie odzawałowej stanu obciążenia, analogicznego do występującego w osłonie zamontowanej w sekcji obudowy

zmechanizowanej. Zasadnicza część badań polegała na określeniu mechanizmu zniszczenia osłony i wyznaczeniu wartości obciążenia granicznego według przygotowanej procedury postępowania.

Dla zweryfikowania metody wyznaczania obciążenia zewnętrznego sekcji badaniom poddano sekcję obudowy zmechanizowanej typu FAZOS-10/28-POz/BSN. Wielkościami mierzonymi przy weryfikacji były: ciśnienie w stojakach, odkształcenia jednostkowe łączników, składowe pionowa i pozioma obciążenia zewnętrznego sekcji. Zarejestrowane wyniki pomiarów zostały wykorzystane do weryfikacji modeli sekcji obudowy zmechanizowanej opracowanych w projekcie badawczym.

W ramach badań o charakterze poznawczym prowadzono również badania sekcji obudowy i stojaków hydraulicznych przy obciążeniu dynamicznym. Badania kompletnej sekcji obudowy pozwoliły na zebranie doświadczeń odnośnie do procedury badań oraz ocenę stanowiska badawczego z zastosowanym generatorem obciążenia dynamicznego. Celem badań stojaków przy obciążeniu dynamicznym, było między innymi sprawdzenie skuteczności zastosowanego upodatknienia stojaka poprzez zmianę postaci konstrukcyjnej rdzennika lub zastosowania zaworu upustowego o określonej charakterystyce oraz weryfikacja modelu MES akumulatora gazowego zabezpieczającego stojak przed przeciążeniem dynamicznym.

W obszarze badań sprawdzających wymagania normatywne odniesiono się do wymagań i procedur badawczych zawartych w normach serii PN-EN 1804. Opisano badania sekcji obudowy zmechanizowanej w zakresie badań funkcjonalnych, wytrzymałości statycznej i wytrzymałości zmęczeniowej zgodnie z PN-EN 1804-1+A1:2011. Przedstawiono badania siłowników hydraulicznych zgodnie z PN-EN 1804-2+A1:2012 i zaworów hydraulicznych zgodnie z PN-EN 1804-3+A1:2012.

Przedstawiono informacje dotyczące stanowisk do badań sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów funkcjonujących w wiodących europejskich ośrodkach badawczych pod koniec XX wieku. Omówiono przykłady badań poznawczych realizowanych na stanowiskach innych ośrodków.

Dokonano porównania wymagań bezpieczeństwa dla sekcji obudowy zmechanizowanej ujętych we wdrożonej do stosowania w Polsce normie PN-EN 1804-1+A1:2011 z wymaganiami amerykańskimi wg metody CONSOL i rosyjskimi według normy GOST R52152-2003.

Realizacja prac badawczych w ITG KOMAG, których przykładowe efekty przedstawiono w niniejszej monografii, możliwa jest dzięki ciągle rozwijanej i doskonałej bazie badawczo-pomiarowej.

Stand tests of powered roof support and its components

Abstract

Potential of the KOMAG Institute of Mining Technology for testing the complete powered roof supports and its components is presented. Types of tests of powered roof supports and their components as well as applied testing methods are discussed. Examples of tests performed for over 40 years are described.

Testing the powered roof support strain under static load, tests verifying the methods for determining the external load to the roof support and tests under dynamic load are illustrated.

Strength tests verifying the theoretical calculations were carried out using a strain gauge for the complete powered roof supports and a two-telescopic leg, as well as the brittle cover method when determining the threshold load capacity of a gob shield.

The procedure of stand tests verifying the calculation results is presented on the example of the ZBMD-12/31-Poz powered roof support. The bearing components of the tested roof support had signs of high degree of wear. A comparison of the results of deformation measurements of powered roof support components, recorded by strain gauges, with the results of calculations made using the FEM model, indicates the need for parallel tests and strength analyzes in the process of assessing the technical condition of the previously used roof support.

Analysis of the strain tests of a two-telescopic hydraulic leg with a construction hole drilled along the cylinder jacket, leading to a local weakening of the cylinder wall and damage during a short period of use, was presented. The results of testing of several dozen such legs confirm it. Measurements of circumferential relative elongations on the outer surface of the pipe were made to analyze the deformations of the cylinder pipe during the strength tests of the legs,. The results of measurements taken at the stand were compared with the results of numerical calculations using the FEM method, justified using this method, especially in the places, where direct measurement is impossible.

Tests of the threshold load capacity of a gob shield with the use of brittle covers were carried out on a specially made test stand, enabling the load condition to be realized in the gob shield, analogous to that occurring in the shield mounted in the powered roof support. The main part of the testing consisted in determining the mechanism of damage to the shield and determining the threshold load capacity, according to the procedure.

The FAZOS-10/28-POz/BSN powered roof support was tested to verify the method for determining its external load,. The parameters measured during verification were: pressure in the legs, unit deformations of the connectors,

vertical and horizontal components of the external load of the power roof support. The recorded measurement results were used to verify the models of powered roof supports developed in the research project.

Tests of the powered roof support and hydraulic legs under dynamic load were also conducted. Tests of the complete roof support enabled gaining experience regarding the test procedure and assessment of the test stand with the applied dynamic load generator. The purpose of testing the legs under dynamic load was to check the effectiveness of the set leg yielding by changing the prop design or using a relief valve with specific characteristics, and verifying the FEM model of the gas accumulator protecting the leg against dynamic overload.

In the area of testing the normative requirements, reference was made to the requirements and test procedures contained in the PN-EN 1804 series standards. Tests on the powered roof support were described in the scope of functionality tests, static strength and fatigue strength in accordance with PN-EN 1804-1+A1:2011. Tests of hydraulic cylinders according to PN-EN 1804-2+A1:2012 and hydraulic valves according to PN-EN 1804-3+A1:2012 are presented.

Information regarding the test stands for powered roof supports and its components, which are used in the leading European research centres at the end of the 20th century is presented. Examples of tests carried out on the stands in other centres were discussed.

Comparison of safety requirements for powered roof supports included in PN-EN 1804-1+A1:2011 standard implemented in Poland with the requirements according to the US CONSOL method and requirements according to the Russian GOST R52152-2003 standard is presented.

Realization of the research work at KOMAG, examples of which are presented in this monograph, is possible due to the constantly developed and modernized research and measuring infrastructure.

ISBN: 978-83-65593-20-7