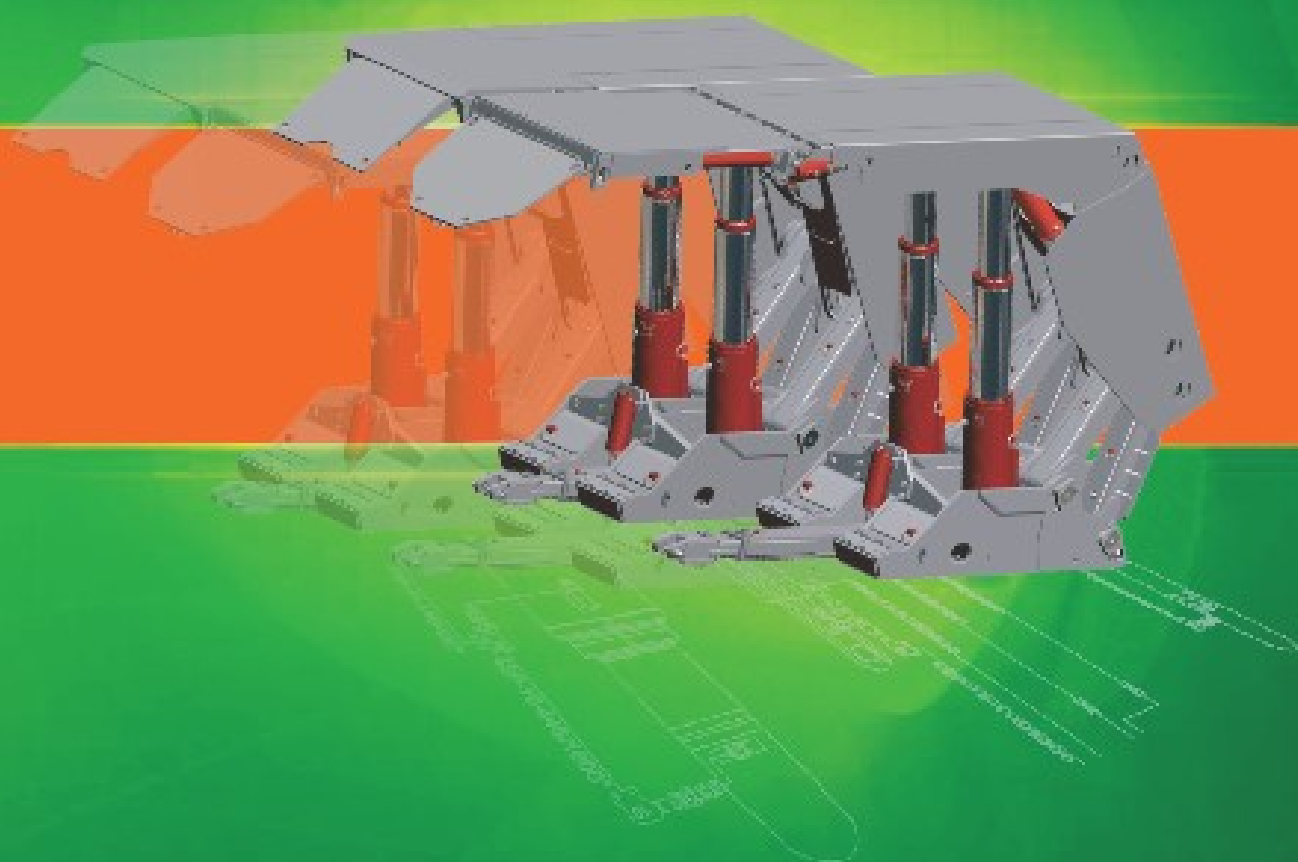


Stanisław SZWEDA
Marek SZYGUŁA
Krzysztof MAZUREK



CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA POSTAĆ KONSTRUKCYJNĄ I PARAMETRY TECHNICZNE SEKCJI ŚCIANOWEJ OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ

Część 1

**Stanisław SZWEDA
Marek SZYGUŁA
Krzysztof MAZUREK**

**Czynniki wpływające na postać konstrukcyjną
i parametry techniczne sekcji ścianowej
obudowy zmechanizowanej**

Część 1

Czynniki naturalne, techniczne i konstrukcyjne

Autorzy:

dr hab. inż. Stanisław Szweda - prof. nadzw. w Politechnice Śląskiej -
Politechnika Śląska

dr inż. Marek Szyguła - ITG KOMAG

dr inż. Krzysztof Mazurek - ITG KOMAG

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Antoni Kalukiewicz - Akademia Górniczo-Hutnicza

dr inż. Sylwester Rajwa - Główny Instytut Górnictwa

Redaktor techniczny:

mgr inż. Romana Zając

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę

Copyright by

Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2016

Wydawca:

Instytut Techniki Górniczej KOMAG

ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

ISBN 978-83-65593-01-6

Spis treści

	str.
Przedmowa	1
1. Wprowadzenie	3
2. Rozwój postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej	5
3. Systematyka rodzajów konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej	16
4. Przegląd rozwiązań technicznych zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej	31
4.1. Spawane elementy sekcji	31
4.2. Zespoły hydrauliki siłowej	44
5. Interakcja sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem	54
5.1. Badania interakcji sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem prowadzone w wybranych ośrodkach zagranicznych	54
5.2. Metoda doboru obudowy wyrobiska ścianowego z wykorzystaniem teorii dopuszczalnego ugięcia stropu	65
5.2.1. Wpływ podporności sekcji obudowy zmechanizowanej na przeciwdziałanie zawałowi stropu wyrobiska ścianowego	66
5.2.2. Wpływ cech konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej na przeciwdziałanie obwałom wyrobiska ścianowego	75
5.2.3. Wpływ cech konstrukcyjnych i parametrów technicznych sekcji na przeciwdziałanie niszczeniu skał stropu	81
5.3. Zastosowanie krzywych reakcji górotworu do analizy interakcji sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem	82
5.4. Interakcja obudowy zmechanizowanej ze spągami	89

6. Charakterystyka rozwiązań konstrukcyjnych w aspekcie doświadczeń eksploatacyjnych	110
6.1. Wpływ współpracy różnych typów sekcji w tym samym wyrobisku ścianowym na postać konstrukcyjną zespołów sekcji	110
6.1.1. Metodyka działań rzeczoznawcy	111
6.1.2. Modyfikacje postaci konstrukcyjnej zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej	112
6.1.2.1. Korekty postaci konstrukcyjnej osłon bocznych osłon odzawałowych	113
6.1.2.2. Korekty postaci konstrukcyjnej przesuwników sekcji	116
6.1.2.3. Korekty postaci konstrukcyjnej belek układu przesuwnego	118
6.1.2.4. Korekty postaci konstrukcyjnej łączników pośrednich układu przesuwnego	121
6.1.3. Wpływ opinii dotyczącej współpracy różnych typów sekcji obudowy zmechanizowanej w jednej ścianie na bezpieczeństwo procesowe w wyrobisku ścianowym	123
6.2. Charakterystyka niezawodności sekcji obudowy zmechanizowanej w świetle ocen jej stanu technicznego	125
6.2.1. Podstawy formalne metod pozyskiwania informacji o uszkodzeniach zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej	125
6.2.2. Niezawodność zespołów sekcji o konstrukcji spawanej	127
6.2.3. Niezawodność zespołów hydrauliki siłowej	130
7. Podsumowanie	140
Literatura	142
Streszczenie	154
Abstract	156

Przedmowa

Ścianowa obudowa zmechanizowana stosowana jest do obudowy wyrobisk już od ponad 70 lat [29, 83]. Jej postać konstrukcyjna, a zwłaszcza parametry technologiczne ewoluowały w tym czasie w dużym zakresie. Zmiany te podyktowane były, z jednej strony koniecznością sprostania rosnącym wymaganiom funkcjonalnym, a z drugiej coraz trudniejszym warunkom naturalnym, w jakich prowadzona jest eksploatacja. Skutkują one zwiększonym obciążeniem sekcji, zarówno statycznym, jak również dynamicznym. Warunki interakcji sekcji ze skałami otaczającymi, determinujące nie tylko bezpieczeństwo stanowiskowe i procesowe, mają również wpływ na wybór postaci konstrukcyjnej sekcji i jej zespołów.

Sekcje obudowy zmechanizowanej stanowią istotną część kompleksu ścianowego, nie tylko oddzielając przedział roboczy wyrobiska ścianowego od skał tworzących strop i zawał, ale również zapewniając przemieszczanie kompleksu ścianowego w miarę wybierania ściany, oraz realizację poszczególnych operacji cyklu technologicznego. Konieczność sprostania tym wymaganiom funkcjonalnym sprawia, że czynniki techniczne takie jak: sposób kierowania stropem wyrobiska, wysokość ściany, jej nachylenie, sposób urabiania czy planowany postęp ściany znacząco wpływają na postać konstrukcyjną i parametry techniczne sekcji. Na ewolucję postaci konstrukcyjnej elementów sekcji miała również wpływ dostępność materiałów o korzystniejszych parametrach wytrzymałościowych oraz nowych technologii jej wytwarzania.

Wymienione czynniki sprawiły, że w przeciągu minionych 70 lat postać konstrukcyjna, parametry techniczne i wymagania bezpieczeństwa stawiane sekcji obudowy zmechanizowanej znacząco się zmieniały. Współczesna postać sekcji obudowy zmechanizowanej jest więc rezultatem wieloletnich badań, analiz, obserwacji i doświadczeń eksploatacyjnych oraz prac projektowych prowadzonych w wielu ośrodkach badawczych na świecie. Celem niniejszej monografii jest dokonanie przeglądu różnych czynników wymuszających rozwój ścianowej obudowy zmechanizowanej oraz wpływających na postać konstrukcyjną i parametry techniczne współcześnie produkowanych sekcji obudowy zmechanizowanej.

Względy merytoryczne sprawiły, że treść monografii rozdzielono na dwie części. Przedmiotem pierwszej części są zagadnienia konstrukcyjne, takie jak rozwój postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej, jej

systematyka oraz zagadnienia projektowania sekcji i jej zespołów w aspekcie wymagań funkcjonalnych. Ponadto w pierwszej części monografii omówiono wpływ, jaki na kształtowanie postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej mają, zarówno metody doboru obudowy wyrobiska do określonych warunków geologiczno-górnich, jak również doświadczenia eksploatacyjne wynikające z ocen stanu technicznego sekcji. Przedstawiono również analizę awaryjności jej zespołów, prowadzoną celem oszacowania wskaźników niezawodności sekcji.

Druga część monografii dotyczy głównie metod sprawdzania wymagań bezpieczeństwa, które musi spełnić sekcja obudowy zmechanizowanej. Metody analityczne, stosowane na etapie projektowania sekcji różnią się rodzajem rozpatrywanego obciążenia zewnętrznego sekcji oraz metodą określania wytrzymałości projektowanego zespołu. W przypadku metod doświadczalnych zmianie ulegały wymagania odnośnie do wymaganej liczby cykli obciążenia oraz realizowanych wariantów obciążenia sekcji.

Autorzy poczuwają się do miłego obowiązku złożenia serdecznych podziękowań kolegom z Zakładu Obudów Zmechanizowanych ITG KOMAG, w szczególności mgr. inż. Joachimowi Stęporowi i mgr. inż. Jackowi Gerlichowi za przekazane uwagi i pomoc w redakcji monografii.

1. Wprowadzenie

Sekcje obudowy zmechanizowanej zaprojektowano w odpowiedzi na potrzebę wyeliminowania niebezpiecznej i wymagającej dużego nakładu pracy fizycznej, operacji ręcznego obudowywania wyrobiska i przekładania przenośnika ścianowego za przesuwającym się frontem ściany. W konsekwencji zastosowanie ścianowej obudowy zmechanizowanej umożliwiło zwiększenie wydobywania z przodka ścianowego.

Pierwsze ramowe sekcje obudowy zmechanizowanej zastosowano ponad 70 lat temu w Niemczech i w Wielkiej Brytanii [29, 83]. Z biegiem lat następowały istotne modyfikacje postaci konstrukcyjnej sekcji podyktowane coraz bardziej rozbudowanymi wymaganiami funkcjonalnymi oraz uzyskiwaniem większych parametrów technicznych.

Rozwój konstrukcji sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej w Polsce ściśle związany jest z ośrodkiem projektowania maszyn górniczych zlokalizowanym w Gliwicach. Pierwsze polskie projekty sekcji obudowy zmechanizowanej typu KRAB, wdrożone do stosowania w podziemnych wyrobiskach eksploatacyjnych, powstały w latach 60-tych XX w. w ówczesnych Zakładach Konstrukcyjno-Mechanizacyjnych Przemysłu Węglowego (ZKMPW). Konstruowanie nowych typów obudowy ścianowej trwało nieprzerwanie w kolejnych firmach, powstałych w wyniku reorganizacji ZKMPW – Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG (CMG KOMAG), i kontynuowane jest obecnie w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG (ITG KOMAG). Równocześnie rozbudowywano bazę laboratoryjną, umożliwiającą prowadzenie w ITG KOMAG bardzo szerokiego zakresu badań sekcji obudowy zmechanizowanej.

Bogaty dorobek w zakresie konstruowania sekcji obudowy zmechanizowanej mają również polscy producenci – Fabryka Zmechanizowanych Obudów Ścianowych FAZOS w Tarnowskich Górach, której dział konstrukcyjny został przekształcony z oddziału KOMAGU przy FZOŚ FAZOS [67, 71, 103], Fabryka Maszyn i Urządzeń TAGOR S.A. w Tarnowskich Górach [12, 13, 81, 93], Zakład Maszyn Górniczych GLINIK w Gorlicach [22, 94, 95, 96], Hydrotech [98], Becker – Warkop [39], Zakład Remontowo – Produkcyjny [25, 26], będący obecnie oddziałem Polskiej Grupy Górniczej. Cenne uwagi wnieśli również użytkownicy kompleksów ścianowych [36, 39, 102].

Doświadczenia uzyskiwane w toku wieloletnich prac projektowych, analiz teoretycznych [3, 11, 18, 29, 32, 33, 43, 66, 74], badań stanowiskowych [30, 38, 70], wdrożeń, ocen stanu technicznego, przeprowadzonych w trakcie

użytkowania sekcji wpłynęły na kolejne modyfikacje postaci konstrukcyjnej zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej.

Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na postać konstrukcyjną sekcji obudowy zmechanizowanej jest zapewnienie właściwej interakcji sekcji z górotworem w określonych warunkach geologiczno – górniczych panujących w rozpatrywanym wyrobisku ścianowym. Problematyka ta stanowi odrębny, wieloaspektowy obszar badawczy, w ramach którego, między innymi opracowywane są wytyczne dotyczące kształtowania cech konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej.

Badania dotyczące współpracy obudowy ścianowej z górotworem prowadzono w Polsce, głównie w: Głównym Instytucie Górnictwa [5, 41, 45, 74, 75, 76, 89, 101], Politechnice Śląskiej [18, 19, 82], Akademii Górniczo-Hutniczej, [38, 42, 43, 50, 51, 52, 106]. Rosnące zagrożenie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego spowodowane zjawiskami dynamicznymi występującymi w górotworze sprawiło, że wiele badań dotyczyło zagadnienia współpracy obudowy zmechanizowanej z górotworem w warunkach wstrząsów górotworu (np.: [5, 79, 89, 106]).

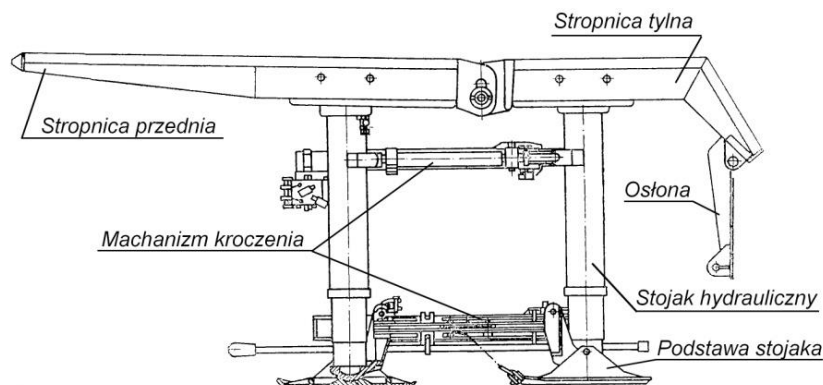
Spośród wielu znanych metod doboru sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków geologiczno – górniczych, najwięcej uwagi w niniejszej monografii poświęcono wpływowi metody dopuszczalnego ugięcia stropu na kształtowanie parametrów technicznych i postaci konstrukcyjnej sekcji. Metoda ta, opracowana przez A. Bilińskiego [4, 6, 7], powszechnie stosowana w polskim górnictwie węgla kamiennego, jest w dalszym ciągu rozwijana i uzupełniana o wyniki badań prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa [40, 73, 74, 80].

W monografii omówiono, oprócz metody dopuszczalnego ugięcia stropu, również badania dotyczące zastosowania krzywych reakcji górotworu do analizy interakcji sekcji z górotworem. Metoda ta, stosowana powszechnie w budownictwie tunelowym, została również wykorzystana do badania współpracy sekcji z górotworem w warunkach charakteryzujących wysoko wydajne australijskie przodki ścianowe [59].

Analiza czynników naturalnych, konstrukcyjnych i technicznych wpływających na postać konstrukcyjną i parametry techniczne sekcji obudowy zmechanizowanej jest szczególnie istotna w przypadku, gdy coraz częściej sekcje obudowy zmechanizowanej projektowane są z myślą o zastosowaniu w ściśle określonych warunkach geologiczno-górniczych [84].

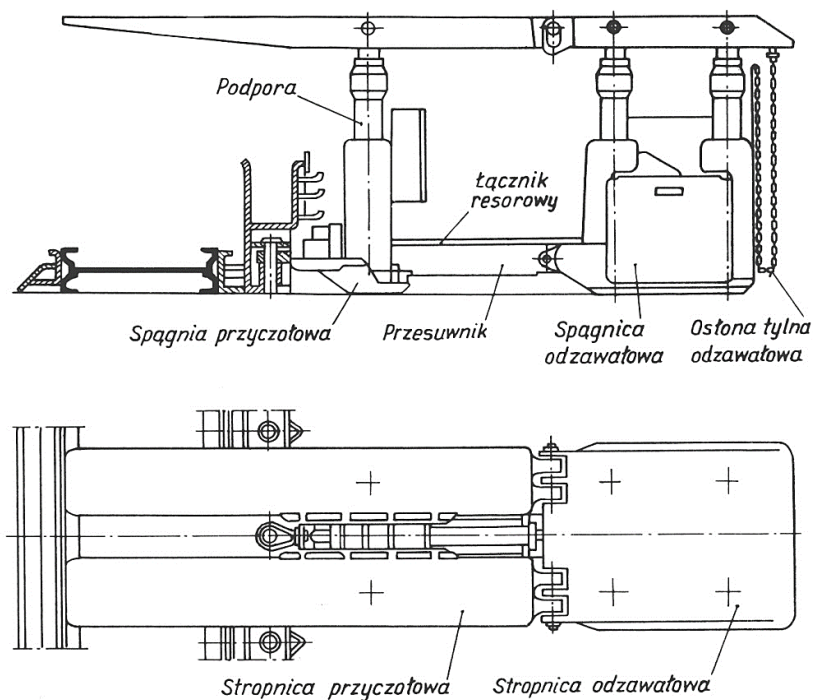
2. Rozwój postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej

Pierwsze sekcje obudowy zmechanizowanej w Polsce zaczęto stosować w latach sześćdziesiątych XX wieku. Były to sekcje dwustojakowe ze stojakami w jednym rzędzie (kasztove i ramowe), składające się ze stropnic podpartych stojakami hydraulicznymi rozpartymi pomiędzy stropnicą a podstawami, niezależnymi dla każdego stojaka, spoczywającymi na spągu wyrobiska (rys. 2.1). Podstawową wadą tej konstrukcji było utrudnione przesuwanie (kroczenie) sekcji, gdyż po zrabowaniu stojaków nie była ona stabilna.



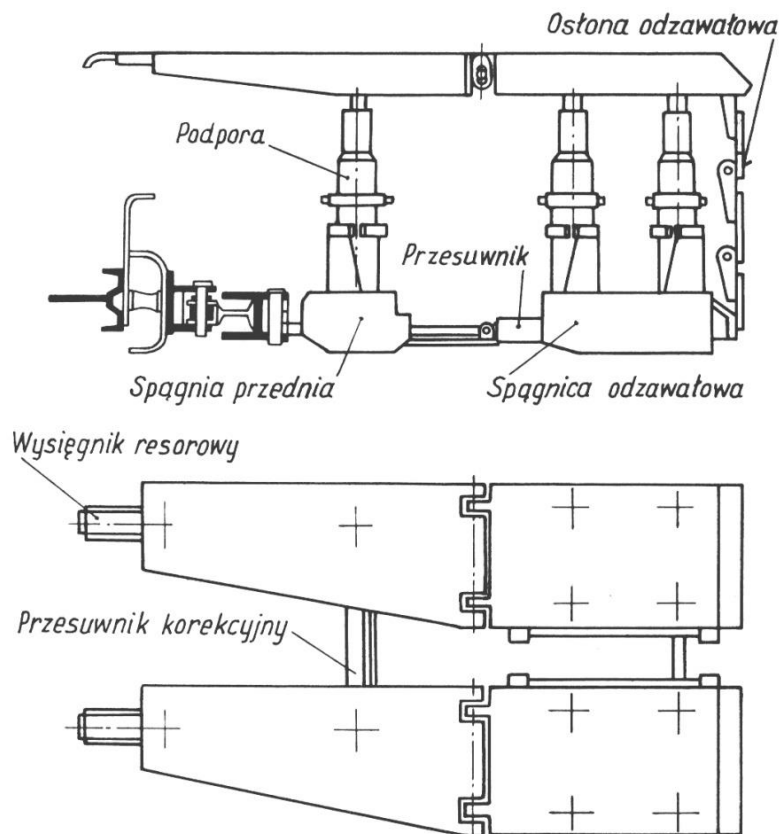
Rys. 2.1. Sekcja obudowy ramowej FAZOS-12/23-Pz [46]

Z czasem zaczęto więc stosować oparcie stojaków w sztywnych spągnicach. Przykładem tego typu konstrukcji są sekcje obudowy kasztovej OK-1 (rys. 2.2) i KRAB (rys. 2.3), zaprojektowane w latach 70-tych XX wieku w ówczesnych zakładach Konstrukcyjno-Mechanizacyjnych Przemysłu Węglowego w Gliwicach (obecnie ITG KOMAG). Stojaki w sekcji obudowy były osadzone w gniazdach stojakowych, trwale zamocowanych w spągnicy przedniej i odzawałowej, co umożliwiało bezpieczne zrabowanie sekcji i jej przesunięcie. Sekcje takie były również wyposażone w wiotkie elementy osłaniające od strony zawału. Zadaniem tych elementów było jedynie uniemożliwienie przesypania rumowiska zawałowego pomiędzy stojaki do wnętrza sekcji. Jakkolwiek osłony odzawałowe zastosowane w sekcjach typu OK-1 i KRAB, nie były elementami sztywnymi, to nacisk rumowiska zawałowego na osłonę powodował działanie poprzecznego obciążenia na sekcję, co bardzo często skutkowało uszkodzeniami stojaków, nieodpornych na działanie siły zewnętrznej, prostopadłej do ich osi.

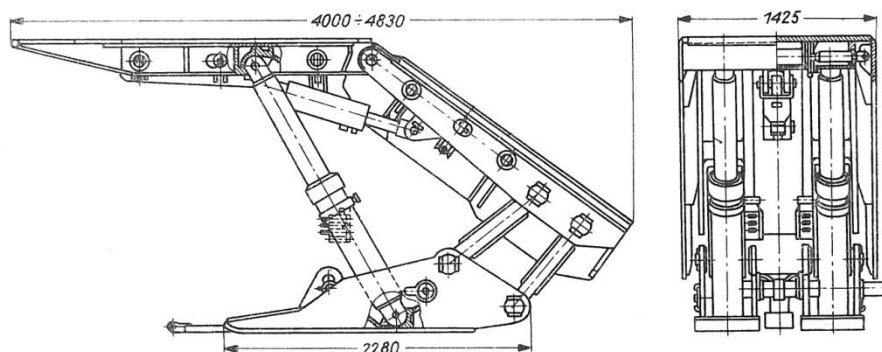


Rys. 2.2. Sekcja obudowy kasztowej OK-1 [87]

W latach siedemdziesiątych XX wieku rozpoczęto w kraju produkcję pierwszej sekcji obudowy podporowo-osłonowej, charakteryzującej się masywną osłoną, znacznie lepiej chroniącą wnętrze sekcji od strony zawału. Sposób połączenia osłony odzawałowej i spągnicy sekcji (układ lemniskatowy) wyeliminował działanie na stojaki hydrauliczne siły zewnętrznej, prostej do ich osi. Pierwszymi polskimi sekcjami o takiej budowie były sekcje FAZOS-12/28-Oz (rys. 2.4) i GLINIK-08/22-Oz (rys. 2.5), skonstruowane w Zakładach Konstrukcyjno-Mechanizacyjnych Przemysłu Węglowego (obecnie KOMAG). W kolejnych latach następował stopniowy rozwój konstrukcji sekcji podporowo-osłonowych. Aktualnie do obudowy wyrobisk ścianowych najczęściej stosowane są podporowo-osłonowe sekcje obudowy zmechanizowanej.



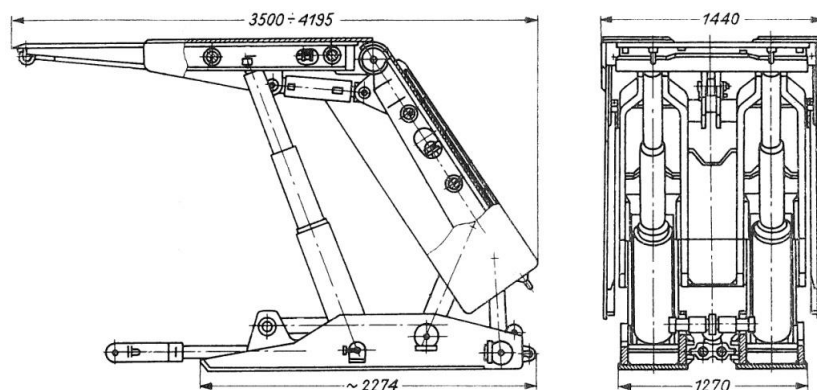
Rys. 2.3. Sekcja obudowy kasztowej KRAB [87]



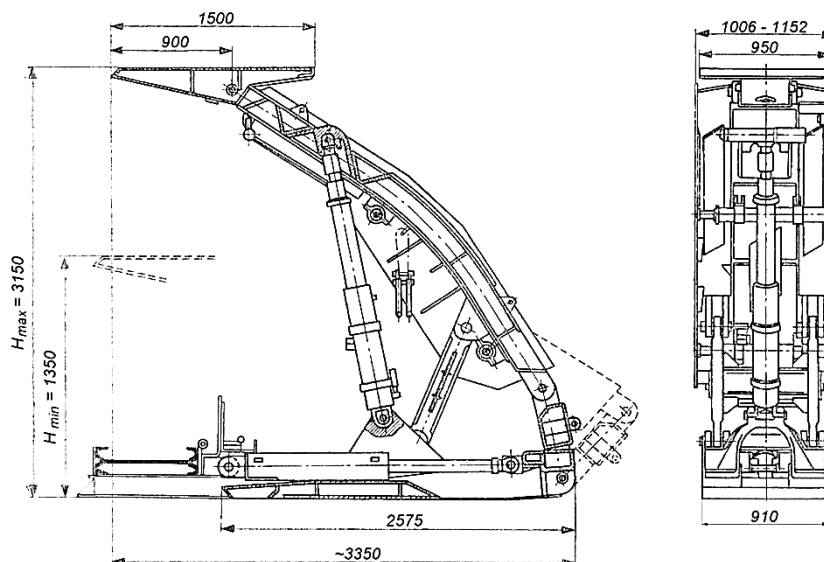
Rys. 2.4. Sekcja obudowy zmechanizowanej FAZOS-12/28-Oz [46]

Równocześnie poszukiwano innych rozwiązań konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej. Powstały sekcje osłonowo-podporowe, których charakterystyczną cechą było podparcie stojakami osłony odzawalowej. Strop

podpierany był pośrednio za pomocą krótkiej stropnicy połączonej przegubowo z osłoną odzawałową. Omawianą postać konstrukcyjną mają sekcje typu FAZOS-19/32-Oz (rys. 2.6) oraz PIOMA-19/38-Oz (rys. 2.7)



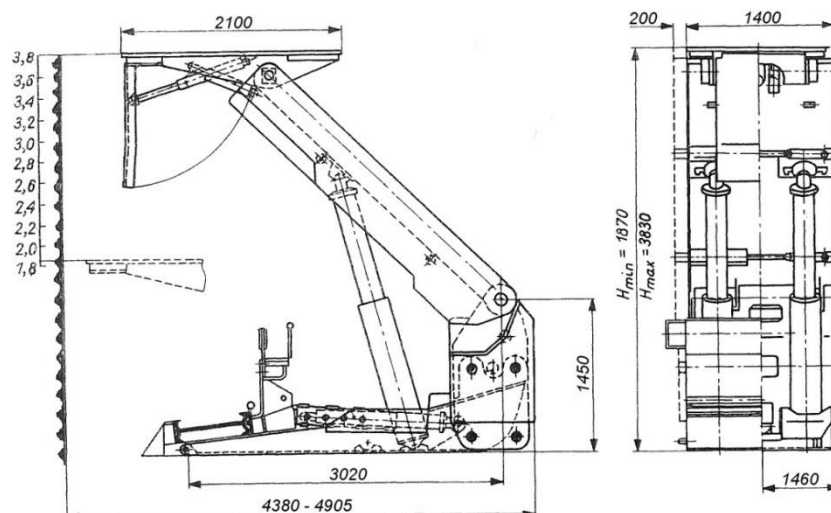
Rys. 2.5. Sekcja obudowy zmechanizowanej GLINIK-08/22-Oz [46]



Rys. 2.6. Sekcja obudowy zmechanizowanej FAZOS-19/32-Oz [46]

Cechą charakterystyczną sekcji o takiej budowie było bardzo krótkie, pośrednie podparcie stropu (krótka stropnica), powodujące duży jednostkowy nacisk stropnicy na skały stropowe. Układ kinematyczny z tzw. przegubem centralnym, zastosowany w sekcji obudowy PIOMA-19/38-Oz, skutkował ponadto dużymi poziomymi przemieszczeniami stropnicy, przy zmianie

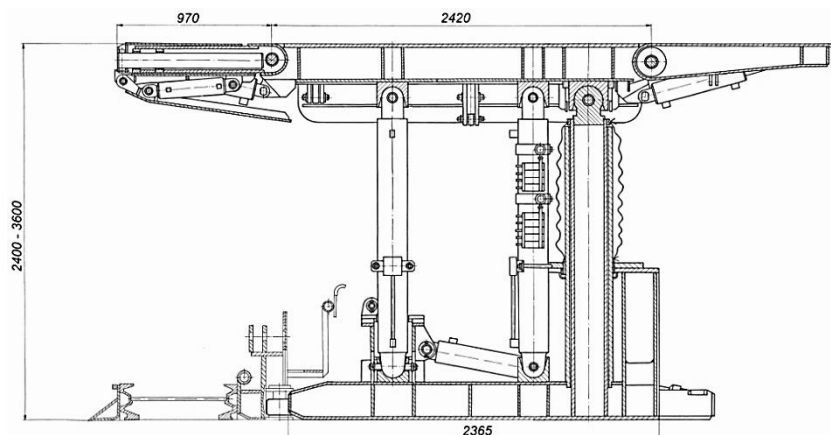
wysokości sekcji. W związku z tym zaciskanie wyrobiska skutkowało działaniem na stropnicę sekcji, poziomej siły zewnętrznej o znacznej wartości.



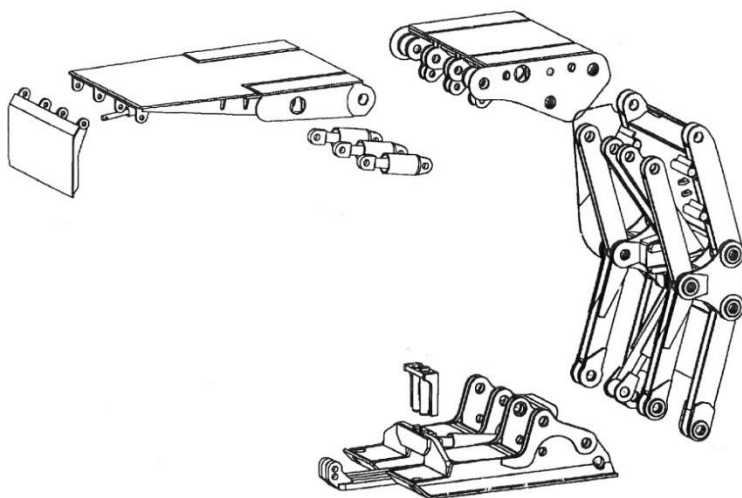
Rys. 2.7. Sekcja obudowy zmechanizowanej PIOMA-19/38-Oz [46]

W przypadku najczęściej stosowanych obecnie sekcji podporowo-osłonowych z lemniskatowym układem prowadzenia stropnicy, zaciskanie wyrobiska również skutkuje działaniem na sekcję, niekorzystnej dla jej konstrukcji, składowej poziomej obciążenia zewnętrznego, wynikającej z poziomego przemieszczania stropnicy przy zmianie wysokości sekcji. Stąd poszukiwano rozwiązań eliminujących to zjawisko. Przykładem konstrukcji sekcji obudowy charakteryzujących się prostoliniowym ruchem stropnicy, przy zmianie wysokości sekcji, są sekcja obudowy podporowej FAZOS-24/36-Pp (rys. 2.8) oraz tzw. bezlemniskatowa sekcja obudowy GLINIK-13/29-Pz (rys. 2.9).

W sekcji obudowy FAZOS-24/36-Pp do stabilizacji położenia stropnicy wykorzystano prowadniki rurowe, natomiast w sekcji obudowy GLINIK-13/29-Pz podwójny układ czworoboku przegubowego. Zostały wykonane egzemplarze prototypowe tych sekcji lecz nie uruchomiono ich produkcji.



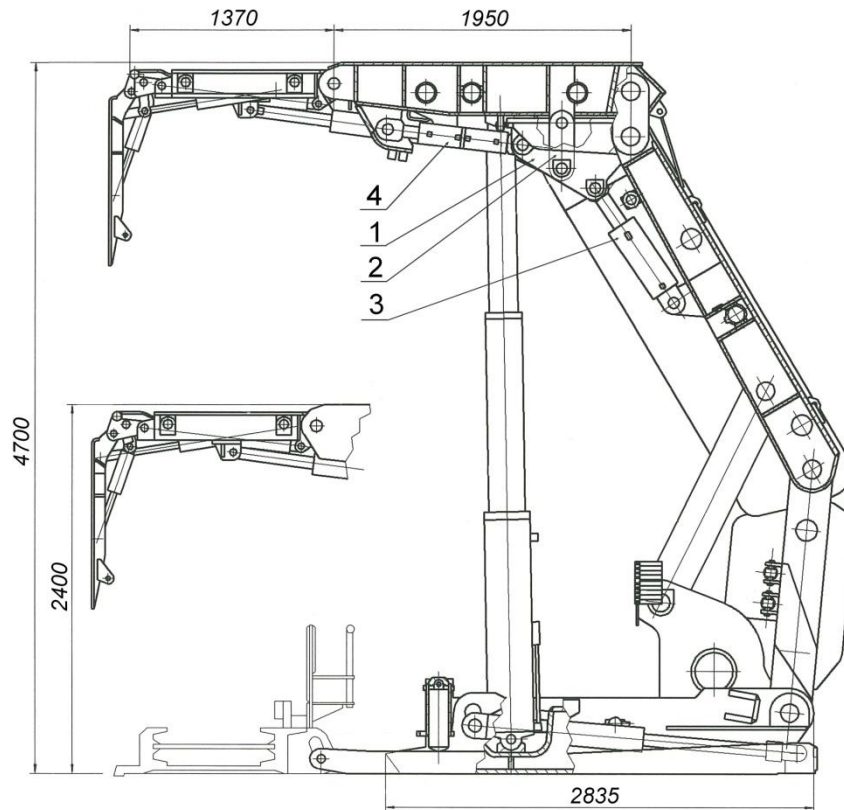
Rys. 2.8. Sekcja obudowy zmechanizowanej FAZOS-24/36-Pp [91]



Rys. 2.9. Sekcja obudowy zmechanizowanej GLINIK-13/29-Pz [96]

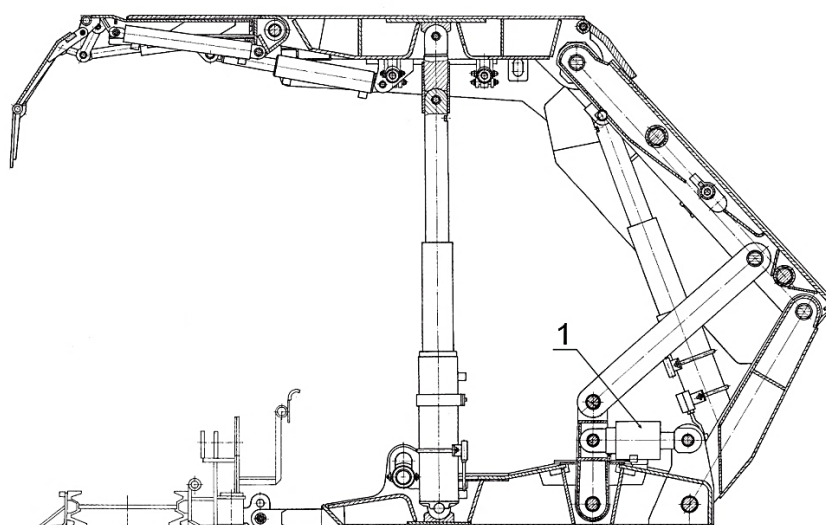
Podjęmowano również próby kompensacji zewnętrznych sił poziomych poprzez zabudowę w sekcji obudowy zespołów redukujących wartość tych sił do wielkości założonej, bezpiecznej dla całej konstrukcji. W przypadku sekcji PIOMA-24/47-Oz (rys. 2.10) zastosowano częściowo elastyczne połączenie stropnicy z osłoną odzawałową. Oba zespoły zostały połączone elementem pośrednim, tzw. wózkiem (1), oraz wahaczami (2) umożliwiającymi przesuwanie wózka wzdłuż stropnicy. Wózek połączony był z osłoną odzawałową poprzez podporę stropnicy (3), a ze stropnicą siłownikiem (4), dzięki któremu siły poziome powstające podczas zaciskania sekcji, były ograniczane do wartości siły

wynikającej z nastawy bloku zaworowego tego siłownika. Wyprodukowano kilka kompletów ścianowych takich sekcji obudowy, lecz nie prowadzono szczegółowych badań wpływu omawianego rozwiązania na zachowanie sekcji w warunkach zsuwu, wymuszonego naciskiem górotworu.



Rys. 2.10. Sekcja obudowy zmechanizowanej PIOMA-24/47-Oz [128]

Kolejną próbą redukcji sił występujących w sekcji obudowy podporowo-osłonowej wskutek konwergencji wyrobiska, było wprowadzenie elastycznego posadowienia w spągnicy przedniego łącznika lemniskatowego. W tym celu spągnicę wyposażono w pionowy wahacz stanowiący element połączeniowy z przednim łącznikiem lemniskatowym. Wyjściowe ustawienie pionowe wahacza wymuszał siłownik hydrauliczny (poz. 1 na rys. 2.11). Pod wpływem sił poziomych przenoszonych od stropnicy poprzez układ kinematyczny sekcji na przedni łącznik lemniskatowy, wahacz odchylał się pokonując opór siłownika wyposażonego w blok zaworowy. Przygotowano cały typoszereg wielkości sekcji obudowy wyposażonych w to rozwiązanie. Były to sekcje MOZ-13/25-POz, MOZ-14/32-POz (rys. 2.11), MOZ-17/37-POz i MOZ-23/41-POz.



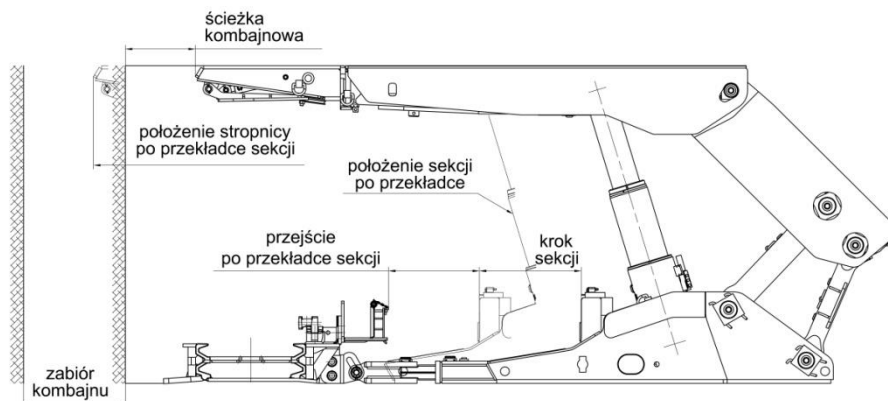
Rys. 2.11. Sekcja obudowy zmechanizowanej MOZ-14/32-POz [107]

Próby przeprowadzone na egzemplarzu prototypowym ujawniły wadę tego rozwiązania. Przeciążenie od sił poziomych wywoływało wychylenie wahacza, lecz ten nie wracał już do położenia pionowego, niekorzystnie zmieniając charakterystykę układu kinematycznego sekcji obudowy. Kilukrotnie przeciążenie powodowało, że skok hydrauliczny siłownika został wykorzystany i dalsze wychylenie wahacza nie było już możliwe. Następowoło usztywnienie układu mocowania łącznika w spągnicy i to w położeniu niekorzystnie wpływającym na charakterystykę sekcji. Z powyższych powodów sekcje tego typu obudowy nie zostały wdrożone do produkcji.

Pierwsze sekcje obudowy podporowo-osłonowej wyposażane były w sztywne stropnice o stałej długości. Okazało się jednak, że nie zawsze jest to korzystne rozwiązanie. W rejonie skrzyżowania ściany z chodnikami przyścianowymi, gdzie często występuje konieczność wykonania dodatkowej wykładki stropu, korzystne okazało się rabowanie tylko przedniej części stropnicy, przy zachowaniu kontaktu pozostałej części stropnicy ze stropem. W sekcjach obudowy stosowanych w rejonach skrzyżowań z wyrobiskami przyścianowymi wprowadzono początkowo tylko wychylne części przednie stropnic, które można odchylić w dół i umożliwić ułożenie nad stropnicą drewnianej wykładki stropu, gdy stropnica zasadnicza ma kontakt ze stropem.

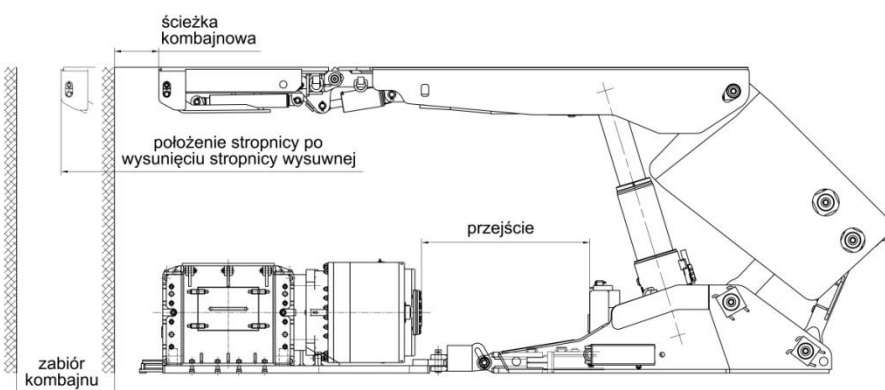
Obecnie sekcja obudowy ze sztywną stropnicą pracuje w ścianie z tzw. krokiem wstecz (rys. 2.12), czyli jest odsunięta od przenośnika. Po przejeździe kombajnu nowo odkryty strop zabezpieczany jest przez przesunięcie sekcji

do przodu o wielkość zabioru kombajnu. Po takim przesunięciu sekcji do przenośnika nadal zapewnione są gabaryty niezbędne do przejścia dla załogi.



Rys. 2.12. Sekcja obudowy zmechanizowanej ustawiona z krokiem wstecz
[źródło: opracowanie własne]

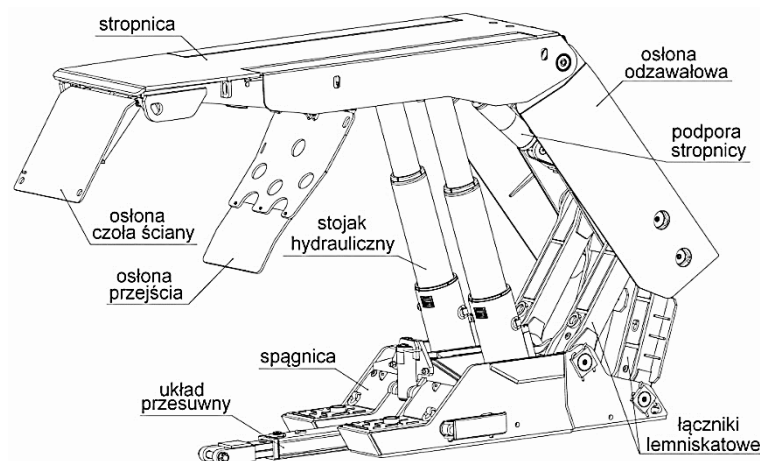
Na wlocie ściany, gdzie takie ustawienie sekcji wymuszałoby znaczne wydłużenie stropnicy, ze względu na dużą szerokość napędu przenośnika, korzystniejsze jest ustawienie początkowe sekcji jako dosuniętej do przenośnika i zastosowanie wysuwnej końcówki stropnicy osłaniającej odkryty strop, bezpośrednio po wykonaniu skrawu. Taką początkową pozycję sekcji w ścianie określa się jako bez kroku wstecz lub z krokiem wprzód (rys. 2.13). Po wykonaniu skrawu kombajnem nowo odkryty strop zabezpieczany jest przez wysunięcie stropnicy wysuwnej, a sekcja obudowy przesuwana jest dopiero po przekładce przenośnika ścianowego. Sama stropnica wysuwna nie ułatwia wykonania dodatkowej wykładki drewnianej nad stropnicą, gdyż umieszczenie takiej wykładki pod stropem wymaga zrabowania całej sekcji obudowy. Połączono więc oba rozwiązania konstrukcji stropnic dla sekcji stosowanych na skraju ściany, tworząc stropnice wychylno-wysuwne. Takie rozwiązanie najczęściej jest stosowane na skraju ściany do dnia dzisiejszego.



Rys. 2.13. Sekcja obudowy zmechanizowanej ustawiona bez kroku wstecz
[źródło: opracowanie własne]

Ogólna postać konstrukcyjna sekcji obudowy podporowo-osłonowej nie uległa zmianie od wielu lat. Jej rozwój polegał na wprowadzaniu nowych rozwiązań poszczególnych zespołów podstawowych (stropnic, osłon odzawałowych, spągnic i stojaków) oraz stosowaniu doskonalonych systemów sterowania hydraulicznego. Wprowadzono systemy monitoringu i zdalnego nadzoru pracy sekcji oraz nowe materiały konstrukcyjne o wysokiej wytrzymałości. Sekcje wyposażono w dodatkowe zespoły poprawiające bezpieczeństwo pracy załogi ściany i współpracę z pozostałymi urządzeniami, takie jak osłony czoła ściany i osłony pola przejścia, systemy korekcji ustawienia sekcji, systemy umożliwiające pracę kompleksu ścianowego w ścianach nachylonych czy wspomagające dostosowanie konfiguracji kompleksu ścianowego do zmian nachylenia poprzecznego pokładu.

Na rysunku 2.14 przedstawiono przykładową, współczesną postać podporowo-sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej przeznaczonej do ścian zawałowych.



Rys. 2.14. Współczesna postać konstrukcyjna sekcji obudowy zmechanizowanej [91]

Nowe rozwiązania postaci konstrukcyjnej i nowe materiały mogły zostać wprowadzone dzięki zastosowaniu nowoczesnych metod wspomagania konstruowania, jak systemy modelowania przestrzennego czy systemy obliczeń wytrzymałościowych uwzględniające przestrzenny rozkład naprężeń (MES). Aktualnie prowadzone prace badawcze i projektowe w mniejszym zakresie dotyczą doskonalenia postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy. Obejmują natomiast głównie procesy projektowania (szczególnie optymalizację cech geometrycznych) i technologii wytwarzania w aspekcie lepszego wykorzystania materiałów konstrukcyjnych oraz poprawy jakości i trwałości zespołów obudowy.

3. Systematyka rodzajów konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej

W górnictwie światowym stosowane są różnorodne klasyfikacje schematów konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej [10, 24, 47, 128, 129]. Jako podstawowe kryterium klasyfikacyjne przyjmowane są: realizowane funkcje, schemat strukturalny, charakter współpracy z górotworem.

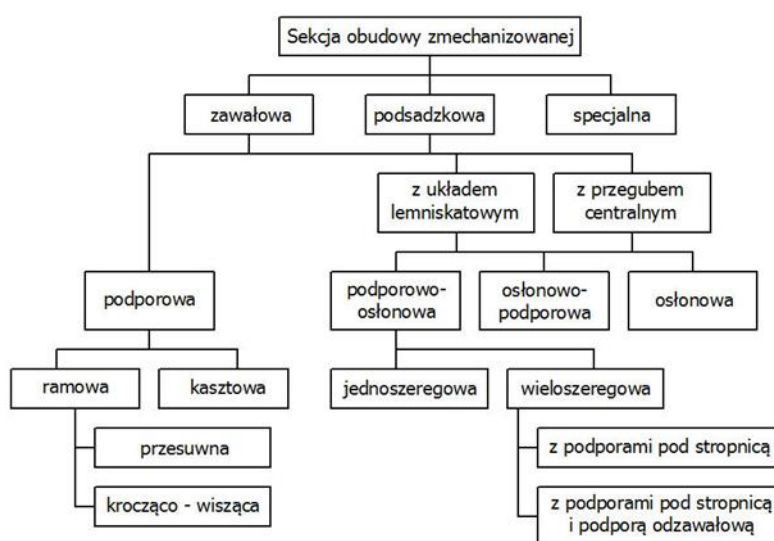
Warunki geologiczno-górniczne mają decydujący wpływ na wybór systemu eksploatacji i sposób kierowania stropem, co implikuje wybór rodzaju zmechanizowanej obudowy wyrobiska ścianowego. Ze względu na różnorodność warunków geologiczno-górnicznych panującą w wyrobiskach ścianowych, opracowano różne typy sekcji. Poszczególne typy tego samego rodzaju sekcji obudowy zmechanizowanej różnią się głównie zakresem wysokości stosowania i liczbą stojaków. W konsekwencji wprowadzono różne propozycje systematyki rodzajów sekcji, przyjmując jako kryterium podziału, zarówno postać konstrukcyjną, jak również parametry techniczno-ruchowe.

W publikacji [10] przedstawiono podział rodzajów sekcji obudowy zmechanizowanej, uwzględniający takie kryteria, jak:

- współpraca sekcji obudowy z górotworem (sekcja obudowy: podporowa i osłonowa),
- wysokość wyrobiska (sekcje obudowy: do pokładów niskich, średnich lub wysokich),
- nachylenie wyrobiska (sekcje obudowy: do pokładów zalegających poziomo i nieznacznie nachylonych – pod kątem 10° – 12° , nachylonych – pod kątem do 45° oraz stromych – o kącie nachylenia większym od 45°),
- sposób kierowania stropem (sekcje obudowy: do systemu wybierania z zawałem stropu lub z zastosowaniem podsadzki),
- układ stojaków w sekcji (sekcja obudowy: ze stojakami usytuowanymi w układzie liniowym lub kasztowym),
- współpraca z przenośnikiem zgrzeblowym,
- sposób przemieszczania sekcji (przesuwny, krocący, sekcyjny, członowy, o równoległym przesuwaniu, o skoku wyrównującym lub wyprzedzającym),
- gabaryty stropnic.

W normie [129], zharmonizowanej z Dyrektywą Maszynową, wprowadzono podział rodzajów sekcji obudowy zmechanizowanej tylko ze względu na dwa czynniki – rozmieszczenie stojaków w sekcji i sposób przenoszenia nacisku skał stropowych. Wyszczególniono trzy podstawowe grupy sekcji: ramową, podporową i osłonową.

Spośród systematyk rodzajów sekcji obudowy zmechanizowanej ujętych w normach, najbardziej przejrzystą klasyfikację zawarto w wycofanej (bez zastąpienia) polskiej normie [128]. Schemat podziału rodzajów sekcji, przyjęty w [128] przedstawiono na rysunku 3.1.

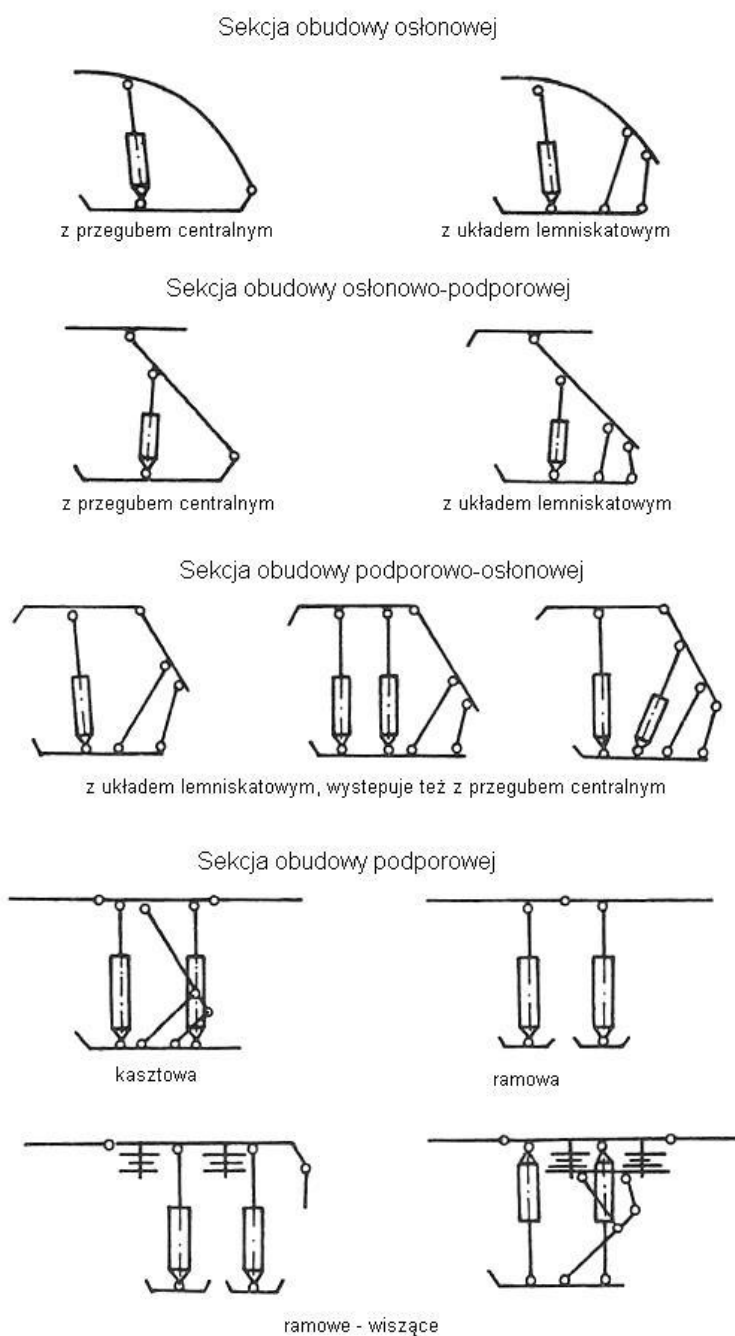


Rys. 3.1. Schematyczny podział rodzajów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej [128]

W aktualnie stosowanej normie PN-EN 1804-1+A1:2011 [129] nie zdefiniowano wszystkich rodzajów sekcji obudowy, spośród wyszczególnionych na rysunku 3.1. Ponadto w normie [129] sekcję obudowy osłonowej zdefiniowano jako sekcję, w której stropnica i spąglica są połączone dodatkowo z osłoną odzawałową przenoszącą nacisk skał stropowych. Definicja przytoczona w normie [129] obejmuje więc trzy rodzaje sekcji wyróżnione w normie [128]: podporowo-osłonowa, osłonowo-podporowa i osłonowa. Pozostałe definicje rodzajów sekcji, przywołane w polskiej normie [128] nie różnią się od definicji w normie zharmonizowanej [129].

Z uwagi na przejrzystość systematyki rodzajów sekcji obudowy zmechanizowanej, przywołanej w normie [128], szczególnie w aspekcie cech konstrukcyjnych, w niniejszej monografii omówiono ją bardziej szczegółowo. Zgodnie z normą [128] ścianowa obudowa zmechanizowana stanowi zespół urządzeń przeznaczony do zabezpieczenia w sposób zmechanizowany wyrobiska ścianowego przed skutkami ciśnienia skał stropowych. W normie [128] zawarto skrócone opisy konstrukcji, ilustrowane schematami (rys. 3.2), umożliwiającymi jednoznaczną identyfikację rodzaju sekcji obudowy.

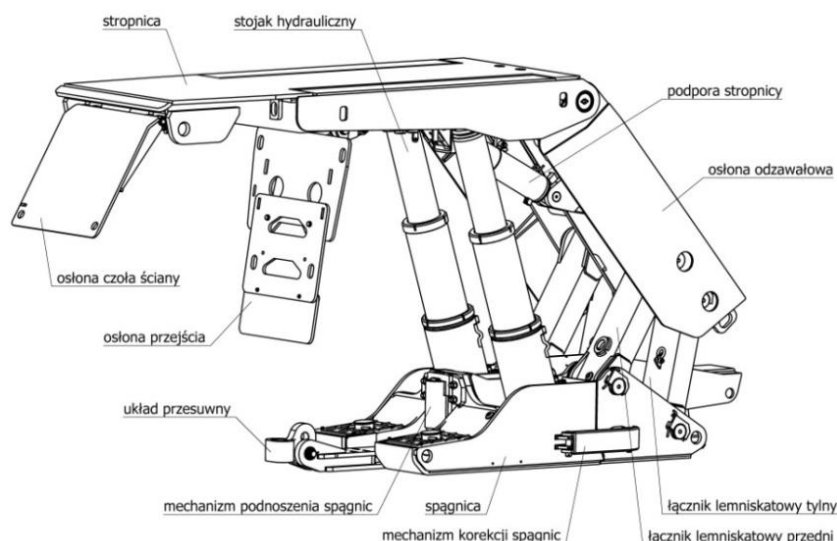
Podstawowymi kryteriami podziału postaci konstrukcyjnych sekcji, zilustrowanym na rysunku 3.2 są: sposób połączenia stojaka z pozostałymi elementami sekcji oraz rodzaje elementów przenoszących obciążenie spowodowane naciskiem skał stropowych i zawału. Na rysunku 3.2 zilustrowano również kolejny podział rodzajów sekcji obudowy: podział ze względu na sposób mocowania osłony odzawałowej do spągnicy. Wyróżnia się sekcje obudowy zmechanizowanej z przegubem centralnym i układem lemniskatowym. W sekcji obudowy z przegubem centralnym koniec stropnicy zatacza łuk o promieniu równym odległości stropnicy od przegubu centralnego. Zatem szerokość niezabudowanej przyczółowej ścieżki stropu zwiększa się wraz ze zwiększeniem wysokości ściany, co może prowadzić do opadu skał stropowych do przestrzeni roboczej. Z kolei podczas zmniejszania wysokości sekcji szerokość ścieżki stropu zmniejsza się, co może skutkować kolizją stropnicy z organem urabiającym kombajnu. W przypadku sekcji obudowy z układem lemniskatowym, koniec stropnicy porusza się po odcinku lemniskaty Bernoullego, co w całym zakresie wysokości stosowania sekcji zapewnia niewielkie zmiany szerokości niezabudowanej przyczółowej ścieżki stropu. W związku z powyższym już od wielu lat stosuje się wyłącznie sekcje z układem lemniskatowym.



Rys. 3.2. Klasyfikacje rodzajów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej według [128] – schematy kinematyczne

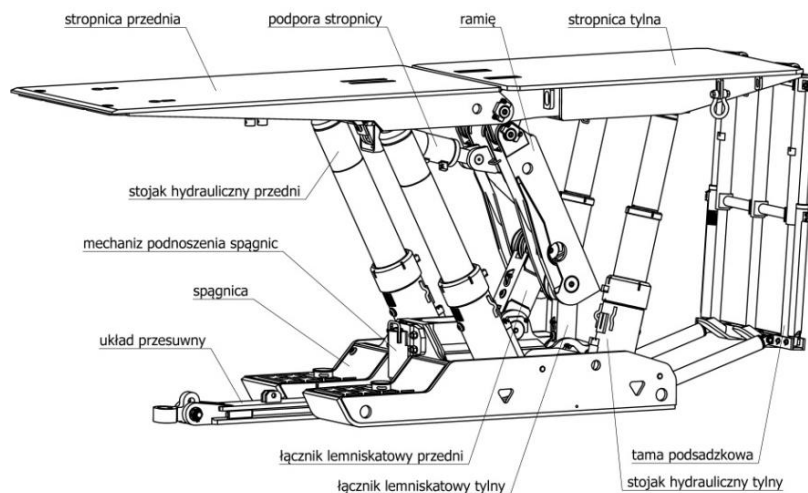
W zależności od przyjętego sposobu kierowania stropem, wyróżnia się następujące rodzaje konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej:

- zawałowa (rys. 3.3), przeznaczona do pracy w ścianie eksploатовanej z zawałem stropu za obudową,
- podsadzkowa (rys. 3.4), przeznaczona do pracy w ścianie eksploатовanej z podsadzaniem wybranej przestrzeni przy użyciu podsadzki,
- hybrydowa (rys. 3.5), przeznaczona do pracy w ścianie zawałowej, jak i podsadzkowej,
- zawałowa specjalna (rys. 3.6), przeznaczona do pracy w ścianie eksploатовanej systemem ścianowo-podbierkowym (TLCC Top Longwall Coal Caving),
- specjalnego przeznaczenia np. zmechanizowana sekcja skrzyżowania ścina-chodnik (rys. 3.7).



Rys. 3.3. Sekcja ścianowej obudowy zmechanizowanej KHW-12/28-POz (sekcja zawałowa) [120]

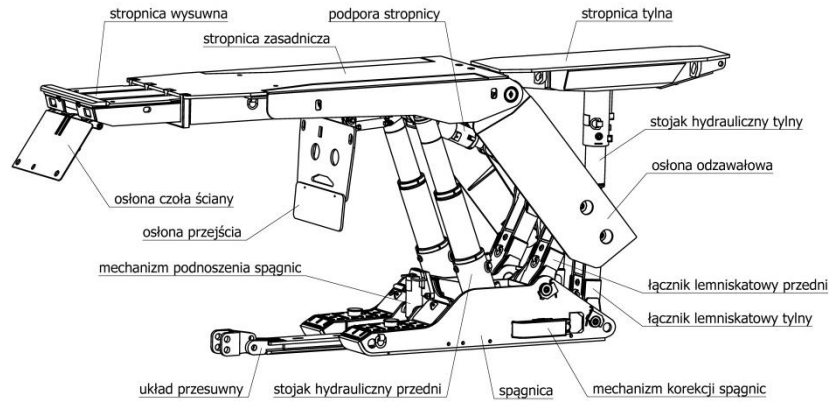
W polskim przemyśle węglowym większość eksploатовanych wyrobisk ścianowych prowadzonych jest systemem zawałowym. W konsekwencji powstało wiele typów sekcji obudowy zmechanizowanej zawałowej różniących się przede wszystkim zakresem wysokości stosowania. Na rysunku 3.3 przedstawiono przykładową postać konstrukcyjną sekcji obudowy zmechanizowanej zawałowej, wraz z oznaczeniem jej podstawowych elementów.



Rys. 3.4. Sekcja ścianowej obudowy zmechanizowanej KHW-14/24-Pp (sekcja podsadzkowa) [122]

Technologia prowadzenia ścian podsadzkowych jest kosztowna i pracochłonna, lecz dzięki podsadzeniu wybranej przestrzeni, osiadanie warstw położonych nad polem eksploatacyjnym jest znacznie mniejsze niż warstw skał nad parcelami pokładu wybieranymi na zawał. W związku z tym systemy podsadzkowe, pomimo wyżej przedstawionych niedogodności są nadal stosowane, zwłaszcza przy wybieraniu pól eksploatacyjnych zlokalizowanych pod obiektami chronionymi przed wpływem osiadania terenu.

Sekcje obudowy zmechanizowanej tzw. hybrydowe, umożliwiają pracę w wyrobisku ścianowym zarówno w systemie kierowania stropu z zawałem, jak również z zastosowaniem podsadzki (po uprzednim zamontowaniu stropnicy tylnej podpartej stojakiem hydraulicznym tylnym). Przykładem takiej konstrukcji jest, przedstawiona na rysunku 3.5, sekcja ścianowej obudowy zmechanizowanej KHW-12/28-POz/Pp.



Rys. 3.5. Sekcja ścianowej obudowy zmechanizowanej KHW-12/28-POz/Pp (sekcja „zawałowo-podsadzkowa”) [121]

W zależności od sposobu eksploatacji pokładów grubych, systemem ścianowo-podbierkowym [48] stosowanym np. w Turcji, na Słowenii czy w Chinach, można wyróżnić następujące rodzaje konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej:

- sekcja obudowy, w której przez tzw. okno spustowe osłony odzawałowej, urobek wypuszczany jest na przenośnik ścianowy,
- sekcja obudowy z tzw. oknem wysypowym w osłonie odzawałowej, przez które urobek wypuszczany jest na przenośnik zgrzeblowy usytuowany w tylnej części sekcji (rys. 3.6),

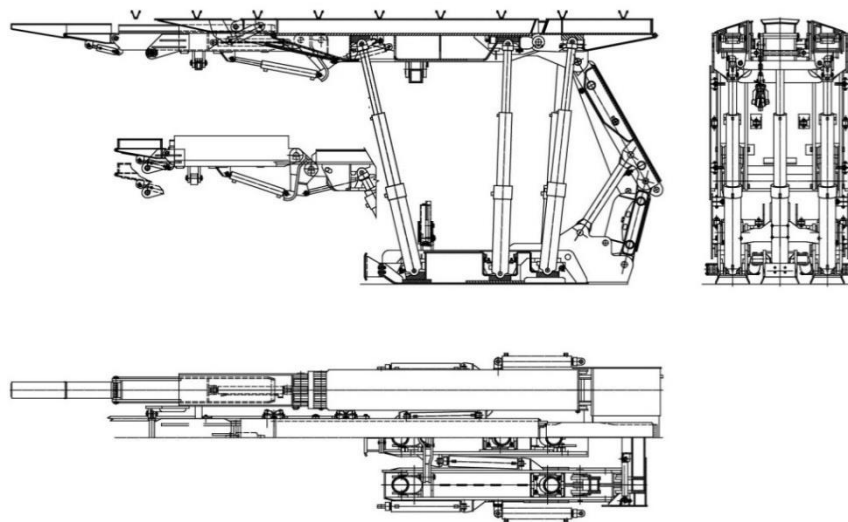


Rys. 3.6 Sekcja ścianowej obudowy zmechanizowanej stosowana w systemie TLCC [134]

- sekcja ze specjalną stropnicą, której uchylenie pod pewnym kątem w kierunku czoła ściany umożliwia wypuszczanie urobku na przenośnik ścianowy.

Na rysunku 3.7 przedstawiono zmechanizowaną obudowę specjalną służącą do zabudowy skrzyżowania ściany z chodnikiem. Sekcja współpracując z łukami stropowymi obudowy wyrobiska przyścianowego zapewnia wystarczającą podporność w rejonie wlotów do ściany.

Jej zastosowanie ułatwia wykonanie prac związanych z przekładką napędu przenośnika ścianowego wraz z przemieszczającym się frontem ściany i z zabudową jej wlotu.



Rys. 3.7. Zmechanizowana obudowa skrzyżowania
KSK-18/37-Pz [44]

Systematyka rodzajów sekcji obudowy zmechanizowanej stosowana w innych krajach, nie różni się zasadniczo od systematyki zgodnej z normą zharmonizowaną [129]. Wyjątkiem jest górnictwo rosyjskie, w którym systematykę rodzajów sekcji obudowy zmechanizowanej rozbudowano bardzo szczegółowo na podobieństwo klasyfikacji systemów strukturalnych mechanizmów (właściwości ruchowe sekcji obudowy powiązano z liczbą i rodzajem elementów składowych oraz sposobem ich połączeń).

W tabeli 3.1 przedstawiono klasyfikację współcześnie stosowanych sekcji obudowy zmechanizowanej w Rosji [47]. Podstawowe znaczenie ma w tej systematyce podział ze względu na charakter współpracy obudowy z górotworem. Należy jednak zwrócić uwagę na znaczenie przypisywane

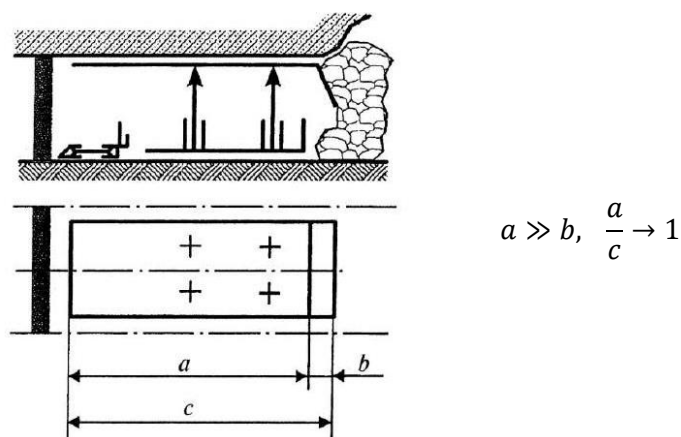
poszczególnym „typom obudowy” wyróżnionym w tabeli 3.1, różniące się od analogicznych pojęć zdefiniowanych w normie zharmonizowanej [129].

**Klasyfikacja współcześnie stosowanych sekcji obudowy zmechanizowanej
w Rosji [47]**

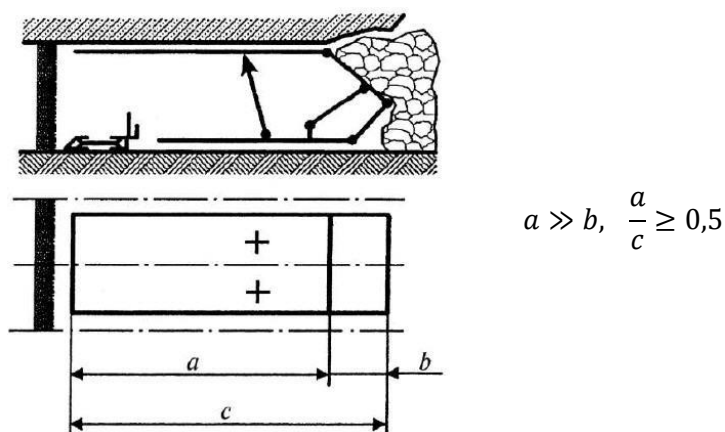
Tabela 3.1.

Kategoria klasyfikacji	Kryterium klasyfikacyjne	Klasyfikacja sekcji
Typ obudowy	charakterystyka współpracy z górotworem	podporowy podporowo-osłonowy osłonowo-podporowy
Klasa obudowy	schemat strukturalny sekcji w kompleksie ścianowym	zespołowa kompleksowa kompleksowo-zespołowa
Podklasa obudowy	podstawowy schemat przemieszczania i zabudowy	z krokiem wstecz bez kroku wstecz
Grupa obudowy	schemat konstrukcyjno-technologiczny	liniowy szachownicowy
Podgrupa obudowy	kolejność przemieszczania liniowych sekcji	indywidualne grupowe
Klasa sekcji obudowy	schemat konstrukcyjny sekcji	ramowa kasztowa osłonowa

W podziale typów obudowy przedstawionym w tabeli 3.1 wskaźnikiem kryterialnym jest proporcja pomiędzy długością rzutu stropnicy – a – a rzutem stropnicy i osłony – c , na płaszczyznę spągu. Wyróżniono obudowę: podporową (rys. 3.8), obudowę podporowo-osłonową (rys. 3.9) oraz obudowę osłonowo-podporową (rys. 3.10).



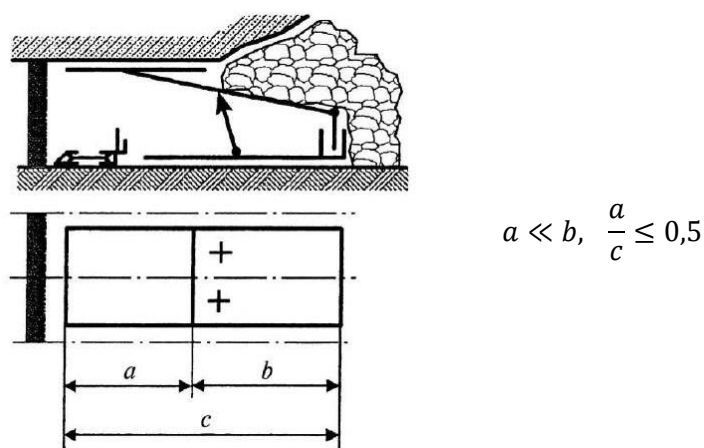
Rys. 3.8. Schemat kinematyczny obudowy podporowej według [47]



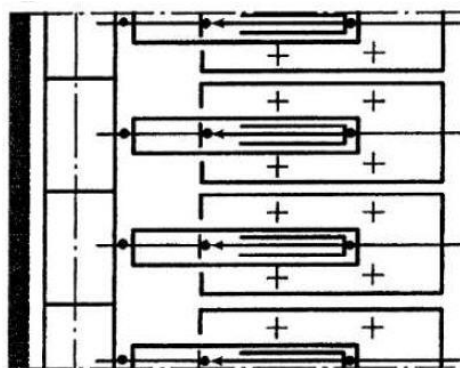
Rys. 3.9. Schemat kinematyczny obudowy podporowo-osłonowej według [47]

W publikacji [47] przedstawiono również podział ze względu na schemat strukturalny obudowy, nie stosowany w normie [129]. W pracy [47] wyróżniono trzy klasy obudowy:

Klasa zespołowa obudowy – charakteryzująca się tym, że poszczególne strukturalne jednostki obudowy – sekcje, są połączone w jeden system wzdłuż przodka ścianowego; sekcje są funkcjonalnie od siebie niezależne z tym, że zachowane jest wzajemne oddziaływanie kinematyczne i siłowe pomiędzy nimi. Schemat strukturalny klasy zespołowej obudowy przedstawiono na rysunku 3.11.

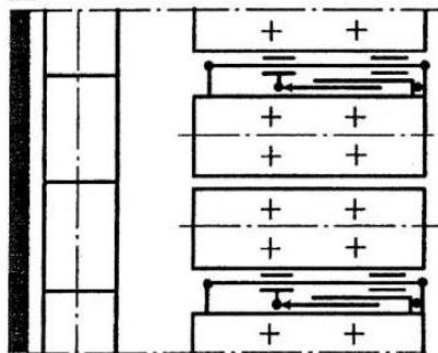


Rys. 3.10. Schemat kinematyczny
obudowy osłonowo-podporowej według [47]



Rys. 3.11. Schemat strukturalny obudowy – klasa zespołowa [47]

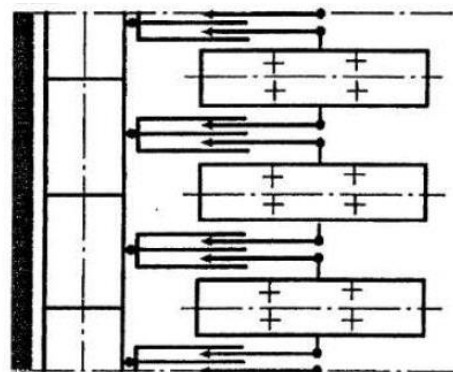
Klasa kompleksowa – sekcje połączone są w zestawy, które strukturalnie nie są połączone ze sobą wzdłuż przodka. Zestawy, złożone z dwóch lub trzech sekcji, wyposażone są we własny układ przesuwu (oddziaływanie kinematyczne i siłowe występuje wyłącznie pomiędzy sekcjami tworzącymi zestaw). Przemieszczanie sekcji realizowane jest wewnątrz zestawu, względem aktualnie rozpartej sekcji. W omawianej klasie obudowy nie zapewniono funkcjonalnej zależności pomiędzy zestawami. Podziałka w jakiej rozmieszczone są zestawy wzdłuż przodka ścianowego nie musi być stała. Schemat strukturalny obudowy zaliczanej do klasy kompleksowej przedstawiono na rysunku 3.12.



Rys. 3.12. Schemat strukturalny obudowy – klasa kompleksowa [47]

Do kompleksowej klasy obudowy należy zaliczyć zestawy podwójny i posobny sekcji obudowy zmechanizowanej, zdefiniowane w normie zharmonizowanej [129].

Klasa kompleksowo-zespołowa – sekcje tworzą zestawy, które z kolei budują jednolitą strukturę wzdłuż przodka ścianowego. W odróżnieniu do klasy kompleksowej zachowana jest stała podziałka pomiędzy zestawami. Funkcjonalność kinematyczna i siłowa jest również zachowana, zarówno w zestawie sekcji, jak i w całym przodku. Schemat strukturalny obudowy klasy kompleksowo-zespołowej przedstawiono na rysunku 3.13.



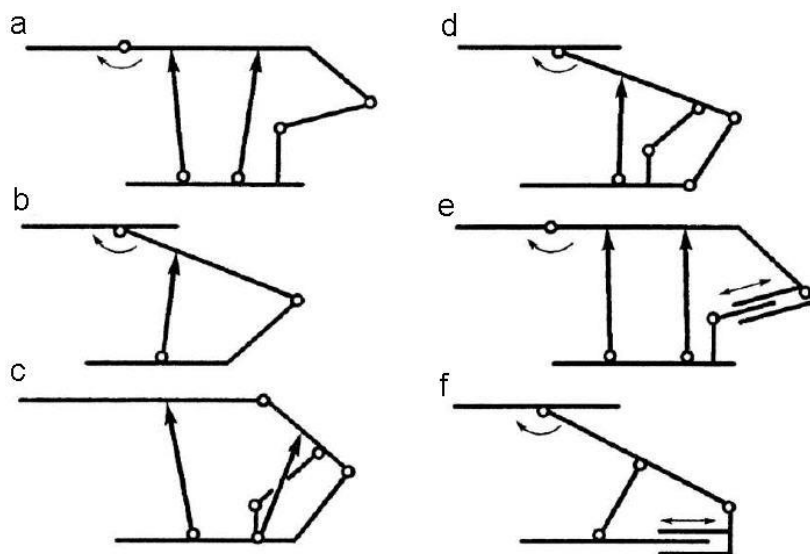
Rys. 3.13. Schemat strukturalny obudowy – klasa kompleksowo-zespołowa [47]

W pracy [47] przedstawiono także klasyfikację obudowy ze względu na schemat konstrukcyjno-technologiczny i kolejność przemieszczania sekcji w nowe położenie. Kryterium podziału jest kolejność przemieszczania sekcji (posobna lub szachownicowa) oraz zastosowany system sterowania tym procesem (indywidualny bądź grupowy). Zagadnienie to omówiono również

w pracy [32] w kontekście uzyskiwania dużych postępów dobowych przodka ścianowego i współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem.

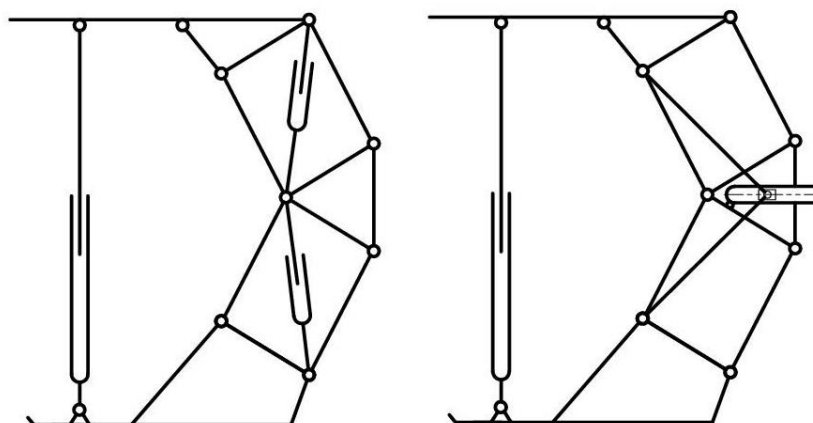
Klasyfikacja współcześnie stosowanych sekcji obudowy zmechanizowanej w Rosji obejmuje podział ze względu na schemat kinematyczny sekcji.

Na rysunku 3.14 przedstawiono schematy kinematyczne sekcji obudowy zmechanizowanej według realizowanego względnego ruchu stropnicy i spągnicy. Punkty spągnicy mogą przemieszczać się po łuku okręgu (rys. 3.14 a i b), po odcinku lemniskaty Bernoullego (rys. 3.14 c i d), po prostej (rys. 3.14 e) i po krzywej eliptycznej (rys. 3.14 f).

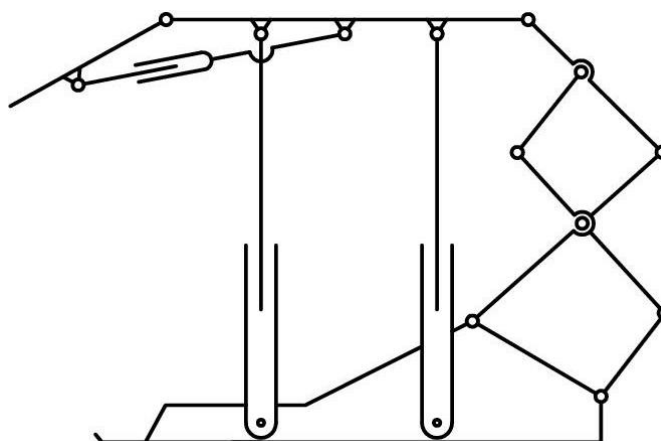


Rys. 3.14. Schematy kinematyczne sekcji obudowy zmechanizowanej według realizowanego ruchu stropnicy względem spągnicy [47]

Uzupełniając systematykę schematów kinematycznych sekcji obudowy zmechanizowanej, zamieszczoną w pracy [47], na rysunku 3.15 przedstawiono schematy kinematyczne prototypowych sekcji tzw. bezlemniskatowych [42, 62, 64], natomiast na rysunku 3.16 – schemat kinematyczny sekcji „Dowty-4 Leg 1000 Tonne Think Seam Chock Shield” z mechanizmem podwójnej lemniskaty [63].



Rys. 3.15. Schematy kinematyczne prototypowych bezlemniskatowych sekcji obudowy zmechanizowanej [42, 62]

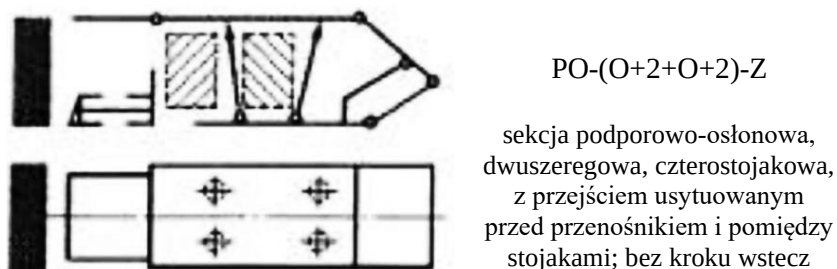


Rys. 3.16. Schemat sekcji obudowy zmechanizowanej z układem dwulemniskatowym [63]

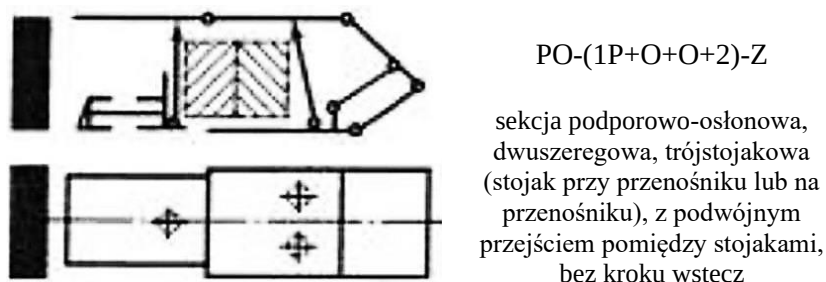
Podsumowując rozważania dotyczące struktury mechanizmów sekcji obudowy zmechanizowanej oraz jej cech funkcjonalnych, w pracy [47] przedstawiono propozycję formalnego zapisu struktury sekcji. W zapisie tym ujęto następujące cechy:

- charakter współpracy z górotworem (PO – podporowa, OP – osłonowa),
- liczbę stojaków w szeregu (oznaczoną cyfrą) i ich usytuowanie w sekcji,
- położenie i liczbę przedziałów roboczych (przejścia dla załogi) – symbol „O”,
- schemat przemieszczania i zabudowy sekcji (Z – bez kroku wstecz (odsunięta od przenośnika), brak wyróżnika – z krokiem wstecz).

Przykładowe schematy kinematyczne sekcji oraz formalne zapisy ich struktury przedstawiono na rysunku 3.17 i 3.18.



Rys. 3.17. Schemat sekcji wraz z zapisem jej struktury [47]



Rys. 3.18. Schemat sekcji wraz z zapisem jej struktury [47]

Formalnych zapisów struktury sekcji, przedstawionych w pracy [47] nie można utożsamiać z wyróżnikami rodzajów sekcji obudowy zmechanizowanej stosowanymi w innych krajach. Wyróżniki w zapisie typów sekcji obudowy zmechanizowanych, stosowane między innymi przez polskich producentów, zawierają informacje o:

- zakresie wysokości geometrycznej sekcji (wyrażonej w dm – np. 12/28),
- sposobie sterowania stropem (np.: 12/28-POz – sekcja zawałowa, 14/24-Pp – sekcja podsadzkowa),
- usytuowaniu sekcji w ścianie (np. 12/28-POz/BSN lub 14/24-Pp/BSN – sekcje pracujące na skraju ściany).

Stosowane są również oznaczenia typu sekcji, w którym zawarto informacje: o wysokości geometrycznej sekcji, liczbie stojaków hydraulicznych i ich podporności roboczej (np. 08/22-2x2690). Z formalnego punktu widzenia sposób oznaczenia typów sekcji obudowy zmechanizowanej nie jest znormalizowany co powoduje, że w stosunkowo dużym stopniu kształtowany jest przez producenta obudowy.

4. Przegląd rozwiązań technicznych zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej

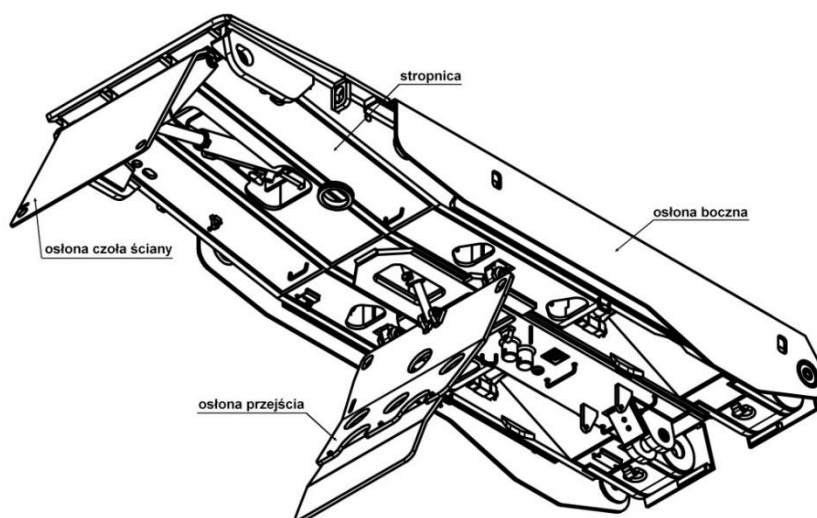
Pierwsze sekcje obudowy zmechanizowanej w Polsce były konstruowane w KOMAG-u w Gliwicach i jego zakładach utworzonych przy producentach sekcji obudowy, głównie Fabryce Zmechanizowanych Obudów Ścianowych FAZOS, Fabryce Maszyn i Urządzeń TAGOR oraz Zakładzie Maszyn Górniczych GLINIK. Nowsze sekcje obudowy powstają już nie tylko w KOMAG-u, ale również w biurach konstrukcyjnych producentów. Dlatego też liczba rozwiązań konstrukcyjnych zespołów sekcji jest znaczna. W przypadku podstawowych zespołów konstrukcyjnych, jakimi są stropnice, spągnice, osłony odzawałowe czy łączniki lemniskatowe, trudno poddawać analizie różnorodność postaci konstrukcyjnej, gdyż ta pozornie podobna, w rzeczywistości różni się wieloma szczegółami. W zasadzie każdy podstawowy zespół sekcji jest zespołem jednostkowym. Jedynie w przypadku łączników lemniskatowych można zauważyć konstrukcje zbliżone, różniące się np. tylko długością. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku stojaków i siłowników. Tu ogólna postać konstrukcyjna jest powtarzalna, a różnice w konstrukcji niektórych węzłów pozwalają na bardziej szczegółową analizę stosowanych rozwiązań i ocenę częstości stosowania danego rozwiązania.

4.1. Spawane elementy sekcji

Dla spawanych elementów podstawowych sekcji, jakimi są stropnica, osłona odzawałowa, spągnica i łączniki lemniskatowe, duże różnice odmian konstrukcyjnych występują tylko w stropnicy i spągnicy. Pozostałe zespoły mają zbliżone postaci konstrukcyjne. W przypadku stropnicy można wyróżnić takie odmiany jak stropnica jednolita, stropnica jednolita ze stropnicą wysuwną i stropnica ze stropnicą wychylno-wysuwną. W przypadku sekcji liniowych, zabudowanych poza rejonami skrzyżowania ściany z wyrobiskiem przyścianowym, najczęściej stosowane są stropnice jednolite (rys. 4.1). Stropnica taka na całej swej długości ma budowę skrzynkową. Połączenie stropnicy ze stojakami zapewniają gniazda stojakowe, stanowiące lokalne usztywnienie skrzynkowej konstrukcji stropnicy. W tylnej części stropnicy zaprojektowano ucha służące do przegubowego połączenia stropnicy z osłoną odzawałową.

Ze skrzynkową konstrukcją stropnicy połączone są trwale ucha przegubowego połączenia stropnicy i siłownika podpory stropnicy. W części przedniej stropnica najczęściej wyposażona jest w wychylaną siłownikiem hydraulicznym osłonę czoła ściany, osłaniającą przedział roboczy wyrobiska

przed odłamkami węgla czy skał, odpadającymi od czoła ściany. Użytkownik ma obowiązek stosowania osłony czoła ściany w ścianach o wysokości powyżej 2,4 m.



Rys. 4.1. Stropnica jednolita [116]

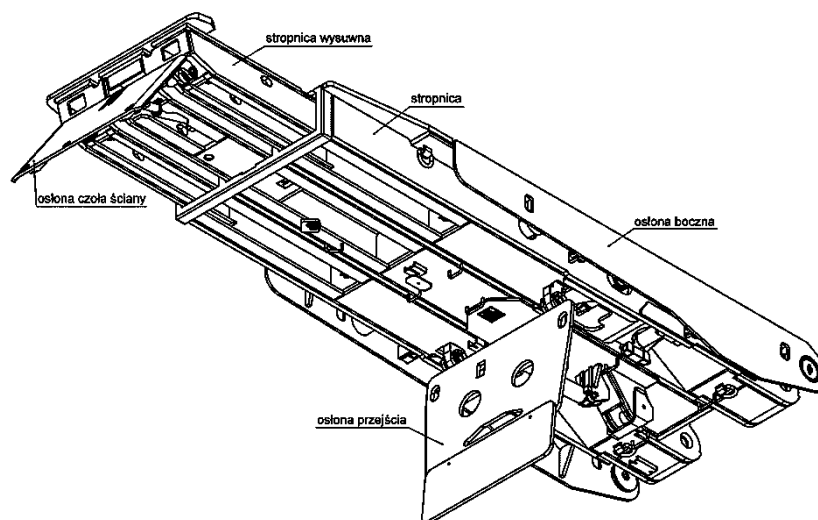
W pierwszych projektowanych stropnicach ucha przyłączeniowe osłon czoła ściany były połączone ze stropnicą za pomocą spoin. W przypadku uszkodzenia, spowodowanego zahaczeniem organu urabiającego kombajnu o osłonę czoła ściany, naprawa ucha wiązała się z koniecznością wydania stropnicy do prac spawalniczych. W nowszych konstrukcjach ucha przyłączeniowe są wymienne, co zdecydowanie ułatwia przeprowadzenie ewentualnych napraw. Wymiana uch możliwa jest w trakcie biegu ściany, bez wydawania stropnicy do prac spawalniczych.

W części środkowej stropnicy często stosuje się osłonę przejścia dodatkowo zabezpieczającą załogę ściany przed uderzeniem bryłą węgla lub skały. Użytkownik ma obowiązek stosowania osłony przejścia w ścianach o wysokości większej niż 2,4 m o nachyleniu podłużnym większym niż 18°. Osłona przejścia również wychylana jest siłownikiem hydraulicznym.

Sekcje obudowy ze stropnicą jednolitą ustawiane są w ścianie z tzw. „krokiem wstecz”. Po przejeździe kombajnu sekcja obudowy dostawiana jest do przenośnika, a dopiero w dalszej kolejności przesuwany jest przenośnik. Ustawienie sekcji obudowy „z krokiem wstecz” sprawia, że na odcinku ściany, na którym jeszcze nie wykonano skrawu, wymiary przejścia są większe od

wymiarów przejścia na odcinku, na którym po wykonaniu skrawu sekcje zostały dosunięte do przenośnika.

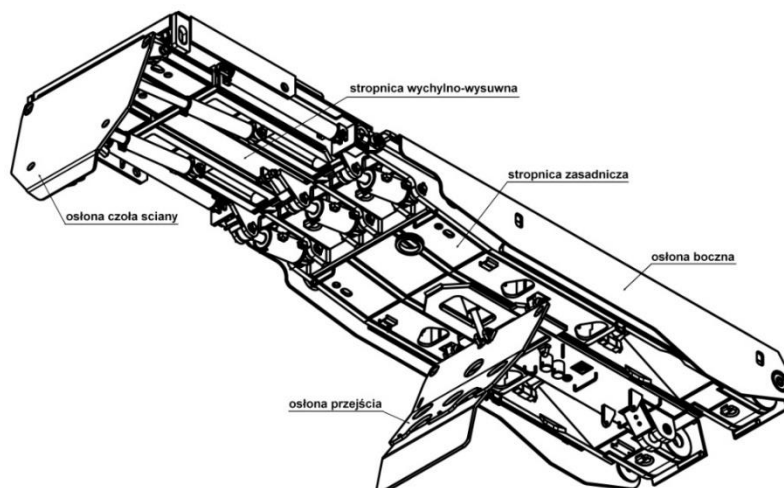
Stropnice jednolite wyposażone w przedniej części w stropnicę wysuwną (rys. 4.2), są rzadziej stosowane w ścianach.



Rys. 4.2. Stropnica jednolita ze stropnicą wysuwną [121]

W tym przypadku, w zależności od potrzeb, sekcja obudowy może być ustawiona w ścianie „z krokiem wstecz” lub „bez kroku wstecz”. W pierwszym ustawieniu stropnica wysuwana umożliwia szybsze osłonięcie stropu po przejeździe kombajnu, bez przesuwania sekcji obudowy. Takie ustawienie stosuje się najczęściej w przypadku stropów słabych dla przeciwdziałania opadaniu skał stropu przed sekcją obudowy. Jeżeli sekcja jest ustawiona w ścianie „bez kroku wstecz”, stropnica wysuwana stanowi jedyne możliwe osłonięcie stropu, gdyż przestawienie sekcji możliwe jest dopiero po przekładce przenośnika ścianowego. Celowo użyto tu zwrotu „osłonięcie stropu”, gdyż w większości przypadków stropnica wysuwana nie podpira stropu aktywnie. Takie ustawienie sekcji w ścianie umożliwia skrócenie odległości od czoła ściany do linii zawału. Stropnice jednolite ze stropnicą wysuwną stosuje się zarówno w środkowej części ściany (sekcje liniowe), jak i na skraju ściany.

Kolejną, często stosowaną postacią konstrukcyjną jest stropnica zasadnicza wyposażona w przedniej części w stropnicę wychylno-wysuwną (rys. 4.3).

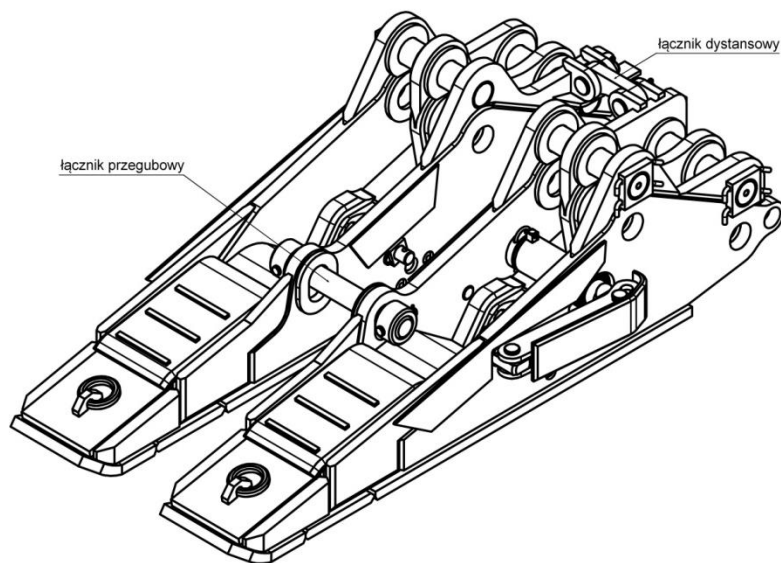


Rys. 4.3. Stropnica ze stropnicą wychylno-wysuwną [116]

Takie rozwiązanie, stosowane głównie na skraju ściany, umożliwia ustawienie sekcji obudowy „bez kroku wstecz” (zmniejszenie rozpiętości wyrobiska), oraz ułatwia dodatkowe zabezpieczenie stropu wykładką drewnianą, dzięki możliwości zrabowania tylko przedniej części stropnicy, przy zachowaniu pełnej podporności sekcji obudowy. Nowo odkryty strop jest osłaniany poprzez wysunięcie stropnicy wysuwnej. Nie zaleca się stosowania stropnicy wychylno-wysuwnej dla tzw. sekcji liniowych, gdyż podporność stropnicy wychylno-wysuwnej jest znacząco mniejsza od podporności stropnicy zasadniczej, podpartej bezpośrednio stojakami. Ponieważ oddziaływanie stropnicy wychylno-wysuwnej na strop nie zależy od podporności stojaków, to w przypadku dużego ciśnienia górotworu może ona przyczyniać się do powstawania obwałów stropu przed sekcją obudowy.

Wszystkie wymienione typy stropnic, w ścianach zawałowych wyposażane są w osłony boczne, chroniące załogę ściany przed opadem odłamków skał ze stropu. Osłon bocznych nie stosuje się w ścianach podszkawkowych, gdyż technologia prac wykonywanych w ścianie wymusza stosowanie rozszerzonej podziałki sekcji, co sprawia, że sąsiednie sekcje nie stykają się.

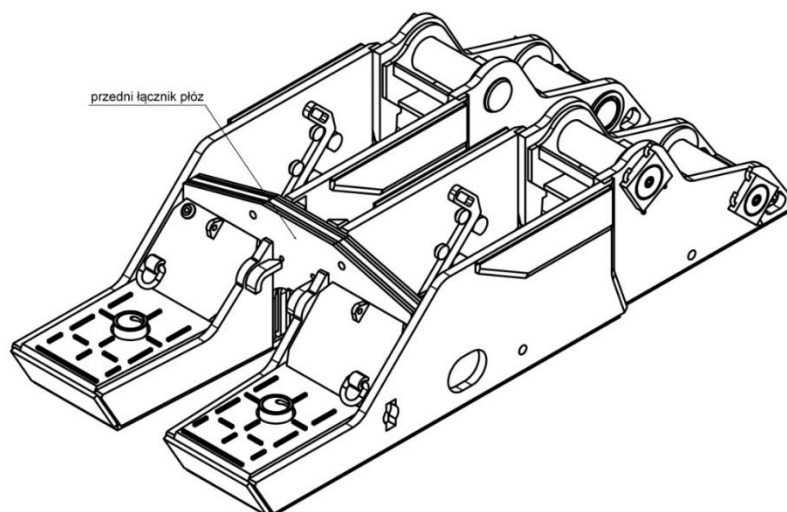
W sekcjach obudowy zmechanizowanej stosuje się dwie postaci konstrukcyjne spągnic: spągnice dzielone i jednolite. Spągnice dzielone (rys. 4.4) stosuje się obecnie głównie w sekcjach obudowy przeznaczonych do ścian niskich, głównie ze względu na brak miejsca na zamontowanie elementów łączących płozy spągnicy.



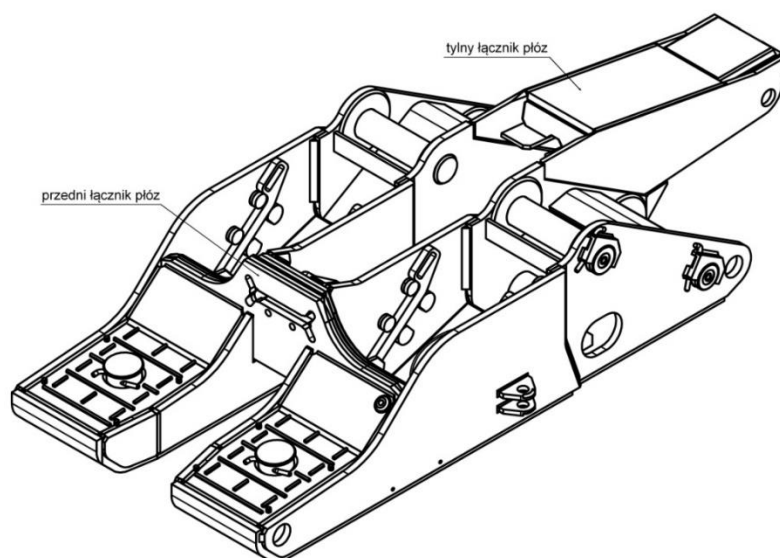
Rys. 4.4. Spągница dzielona [125]

Spągница dzielona zbudowana jest z dwu płóz połączonych w przedniej części sworzniem, ustalającym odległość pomiędzy płozami i równocześnie służącym do połączenia spągnicy z siłownikiem układu przesuwnej sekcji obudowy. W tylnej części spągnicy najczęściej stosuje się łącznik dystansowy. Spągница tego typu nie stanowi konstrukcji sztywnej. Każda z płóz układa się na spągu teoretycznie niezależnie. Jednak w praktyce połączenie obu płóz poprzez łączniki lemniskatowe z jednobryłową osłoną odzawałową ogranicza możliwość wykonywania niezależnych ruchów przez płozy spągnicy. Spągница dzielona niekorzystnie wpływa na stateczność sekcji w wyrobisku nachylonym podłużnie. Niestateczność sekcji pochylonej jest szczególnie odczuwalna w ścianach wysokich. W praktyce spągница dzielona nie pozwala na stateczność sekcji przy jej nachyleniu 15° (wymagane przepisami) i wysokości powyżej 3,5 m. Z tego powodu coraz częściej stosuje się spągnice jednolite, których płozy połączone są sztywnym łącznikiem w przedniej części (rys. 4.5) lub w przedniej i tylnej części (rys. 4.6).

Spągница jednolita stanowi sztywną podstawę dla sekcji obudowy. Umożliwia również uzyskanie większej powierzchni styku ze spągiem, co jest bardzo istotne w przypadku występowania spągów o małej nośności. Tylony łącznik płóz pełni również rolę osłony tylnej części układu przesuwnej, z reguły usytuowanej w strefie zawалу.

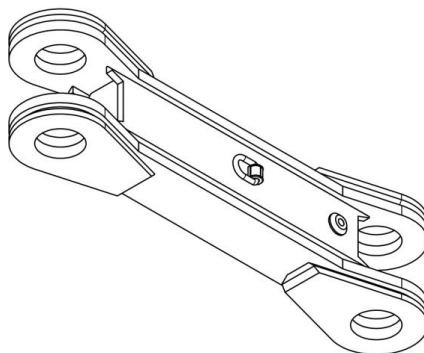


Rys. 4.5. Spąglica jednolita z przednim łącznikiem płóz [116]

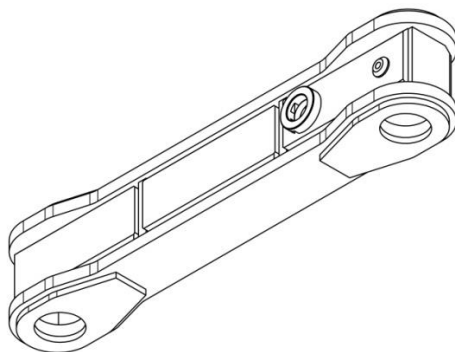


Rys. 4.6. Spąglica jednolita z przednim i tylnym łącznikiem płóz [120]

Mniejsze różnice występują w postaci konstrukcyjnej łączników lemniskatowych i osłony odzawałowej. Łączniki lemniskatowe przednie i tylne mają zbliżoną, skrzynkową budowę z uchami na obu końcach. Spotyka się dwa rodzaje zakończeń łączników: ucha wystające ze skrzynki (rys. 4.7) i ucha wbudowane w skrzynkę (rys. 4.8). Łącznik z uchami wbudowanymi ma sztywniejszą konstrukcję i lepiej stabilizuje ruchy skrętne całej sekcji obudowy. W przypadku łącznika tylnego, który przenosi głównie naprężenia rozciągające, ucha wbudowane w konstrukcję skrzynkową mają większą wytrzymałość niż ucha wystające ze skrzynki.

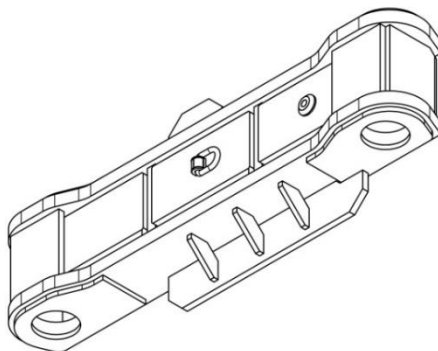


Rys. 4.7. Łącznik lemniskatowy z wystającymi uchami [126]



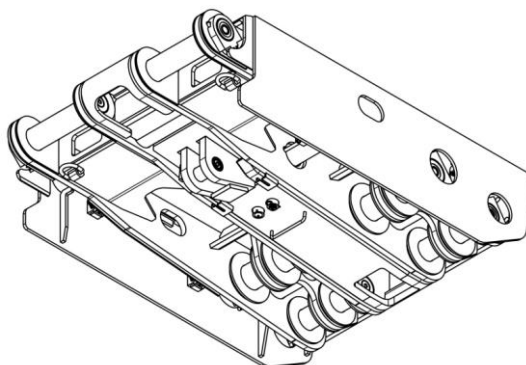
Rys. 4.8. Łącznik lemniskatowy z uchami wbudowanymi [116]

W wysokich sekcjach obudowy łącznik tylny stanowi przegrodę oddzielającą wnętrze sekcji od zawału. W takim przypadku stosuje się łączniki z dodatkowymi blachami osłonowymi utrudniającymi wnikanie rumowiska zawałowego do sekcji obudowy (rys. 4.9).



Rys. 4.9. Łącznik lemniskatowy z blachami osłonowymi [116]

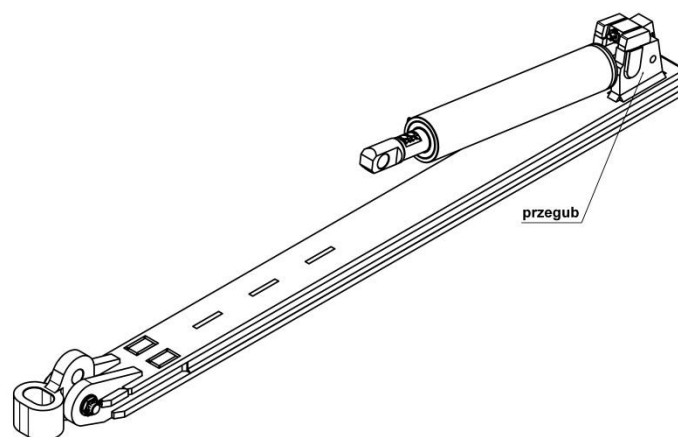
Najmniej odmian konstrukcyjnych można wyróżnić w osłonach odzawałowych (rys. 4.10). Jest to konstrukcja skrzynkowa zaopatrzona w ucha łączące ją ze stropnicą i łącznikami lemniskatowymi. W jednoszeregowych sekcjach obudowy osłona odzawałowa wyposażona jest dodatkowo w ucha łączące ją z podporą stropnicy. Poszczególne wykonania osłon odzawałowych różnią się oczywiście wymiarami oraz ułożeniem blach wynikającym z wymaganej wytrzymałości konstrukcji. Wszystkie osłony odzawałowe wyposażone są w ruchome osłony boczne, przeciwdziałające przedostawaniu się gruzowiska zawałowego do wnętrza sekcji obudowy.



Rys. 4.10. Osłona odzawałowa [111]

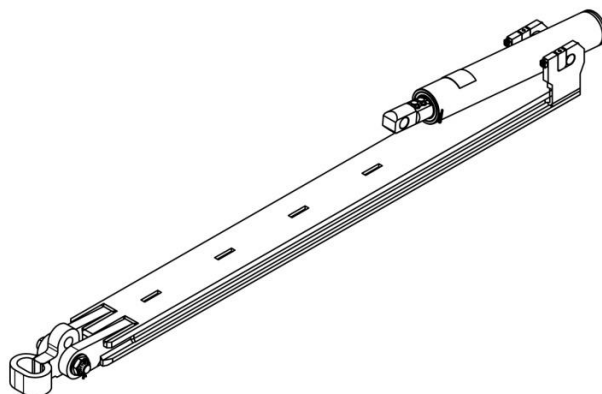
Oprócz omówionych powyżej odmian postaci konstrukcyjnych elementów podstawowych sekcji, różnice występują również w budowie elementów pomocniczych, nie decydujących o podporności sekcji. Takimi elementami są np. układy przesuwne, osłony czoła ściany i osłony przejścia. W zdecydowanej większości sekcji obudowy zmechanizowanej dla połączenia siłownika z belką

stosuje się tzw. układy odwrócone, czyli połączenie siłownika z belką przesuwaną. Taki układ umożliwia wykorzystanie podtłokowej (większej) siły siłownika do przesuwania sekcji obudowy. Siła nadciśnieniowa (mniejsza) powoduje przesuwanie przenośnika ścianowego. Do niedawna belki układów przesuwanych miały określoną stałą długość, dopasowaną do konstrukcji sekcji obudowy. Na jednym końcu belki zabudowane były ucha pozwalające na bezpośrednie, lub za pomocą dodatkowego łącznika, połączenie z zastawką przenośnika ścianowego. Drugi koniec belki połączony był z siłownikiem (rys. 4.11).

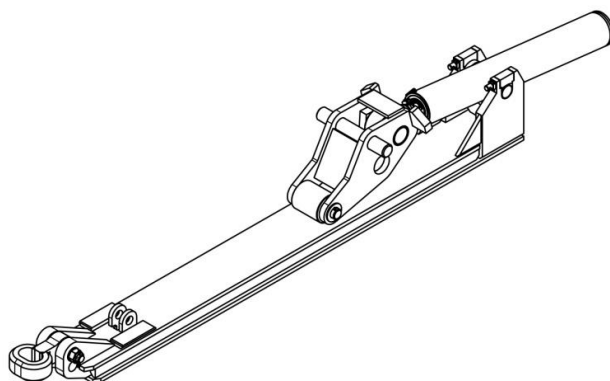


Rys. 4.11. Układ przesuwny z belką o stałej długości [115]

Różne są stosowane sposoby połączenia siłownika z belką. Na rysunku 4.11 pokazano siłownik połączony z przegubem, stanowiącym element belki, poprzez ucho przyspawane do dna cylindra. Ten koniec belki przy każdym przesuwie sekcji obudowy znajduje się w przestrzeni zawalowej. Ze względu na częste uszkodzenia przegubu i trudny dostęp do niego, coraz częściej miejsce połączenia siłownika z belką umieszczone jest na jego cylindrze (rys. 4.12). Takie rozwiązanie wydatnie skraca belkę układu przesuwanego, zwiększając jej wytrzymałość na zginanie. W przypadku zastosowania w sekcji obudowy spągnicy dzielonej oraz przy występowaniu w ścianie miękkiego spągu, często siłownik układu przesuwanego łączony jest ze spągnicą poprzez mechaniczny podnośnik spągnicy (rys. 4.13). Siłownik takiego układu część skoku hydraulicznego wykorzystuje na podniesienie spągnicy i dopiero po jej uniesieniu przesuwa sekcję do przodu. Musi więc tym samym dysponować zapasem skoku hydraulicznego.

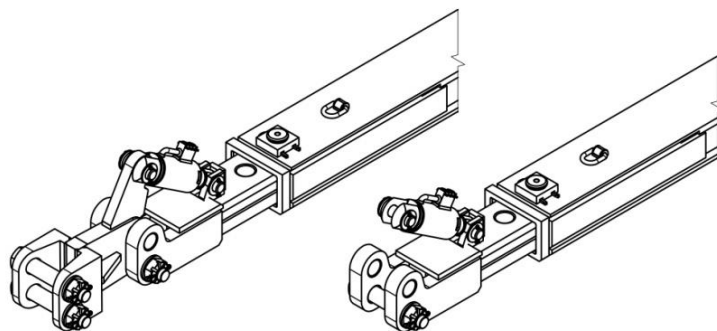


Rys. 4.12. Układu przesuwny z siłownikiem mocowanym za cylinder [121]



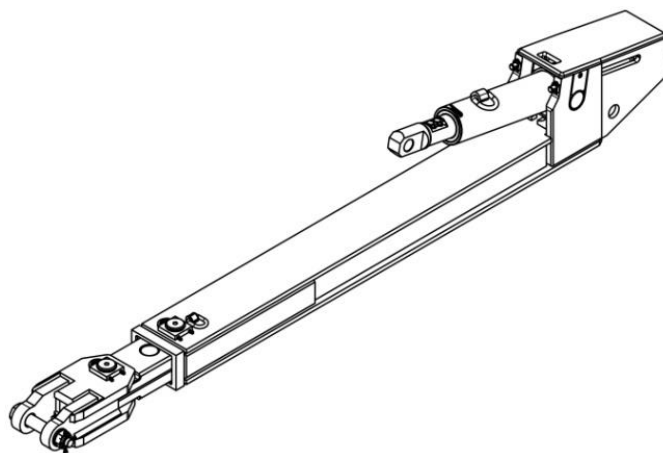
Rys. 4.13. Układu przesuwny z mechanicznym podnośnikiem spągnicy [124]

Układy przesuwne wykorzystywane są do korygowania trasy przenośnika w kierunku poprzecznym. Do tej funkcji przeważnie wykorzystywane są dwa otwory na końcu belki łączonym z zastawką przenośnika. Przepinanie sworznia łączącego belkę z zastawką przenośnika w górny lub dolny otwór pozwala na wymuszanie zmiany kąta pochylenia przenośnika względem czoła ściany. Często jednak taki sposób korygowania trasy przenośnika jest niewystarczający. Stosuje się wtedy dodatkowy siłownik wpięty pomiędzy belkę układu przesuwного i zastawkę przenośnika lub pomiędzy belkę i specjalny łącznik spięty sztywno z zastawką przenośnika (rys. 4.14).



Rys. 4.14. Wspomaganie korekcji trasy przenośnika [112]

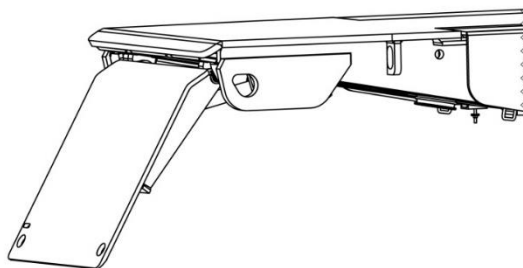
Obecnie coraz częściej stosuje się układy przesuwne z belkami o zmiennej długości (rys. 4.15). Jest to rozwiązanie bardzo korzystne, gdyż pozwala na zmianę ustawienia sekcji obudowy względem czoła ściany. Dobre warunki stropowe umożliwiają odsunięcie sekcji obudowy w stronę zawału, powiększając szerokość przedziału roboczego. W wypadku pogorszenia warunków stropowych istnieje możliwość dosunięcia sekcji obudowy do przenośnika i zmniejszenie szerokości nieosłoniętej, przyczółkowej ścieżki stropu. Przy zmiennej długości belki układu stosuje się oba wymienione powyżej sposoby łączenia siłownika z belką. Na rysunku 4.15 przedstawiono belkę układu przesuwnego o regulowanej długości i wyposażoną w osłonę siłownika, chroniącą go przed uderzeniami skał w strefie zawału.



Rys. 4.15. Układ przesuwny z belką o regulowanej długości [113]

Kolejnymi bardzo istotnymi zespołami sekcji obudowy zmechanizowanej, są osłona czoła i osłona przejścia. Uwarunkowania dla ich stosowania podane zostały w części dotyczącej postaci konstrukcyjnej stropnic. Obecnie stosuje się

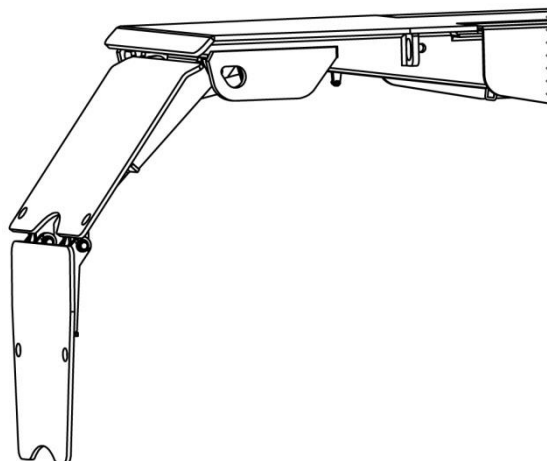
kilka odmian konstrukcyjnych osłony czoła ściany. Wszystkie zbudowane są w formie płyty przymocowanej przegubowo do przedniej części stropnicy i wychylanej siłownikiem hydraulicznym. Różnice polegają na odmiennych układach kinematycznych. Najczęściej występują osłony odchylane przed stropnicę o kąt umożliwiający aktywne oddziaływanie na czoło ściany w odległości 500÷600 mm (rys. 4.16). Jeżeli strop w ścianie jest słaby i wykazuje tendencje do opadu, lub jeżeli węgiel przy czole ściany wykazuje tendencje do odspajania się, stosuje się rozbudowany układ kinematyczny osłony czoła ściany, umożliwiający wychylenie jej aż do pozycji poziomej, w której stanowi ona przedłużenie stropnicy (rys. 4.17). W przypadku wysokich sekcji obudowy stosuje się osłony czoła ściany złożone z kilku części płytowych, umożliwiających zmianę długości osłony wraz z odchyleniem jej końca (rys. 4.18). Odchylana końcówka osłony czoła ściany umożliwia oddziaływanie na czoło ściany na pewnej powierzchni, zamiast krawędziowego styku, występującego w przypadku osłony przedstawionej na rysunku 4.16.



Rys. 4.16. Osłona czoła ściany odchylana do czoła ściany [120]

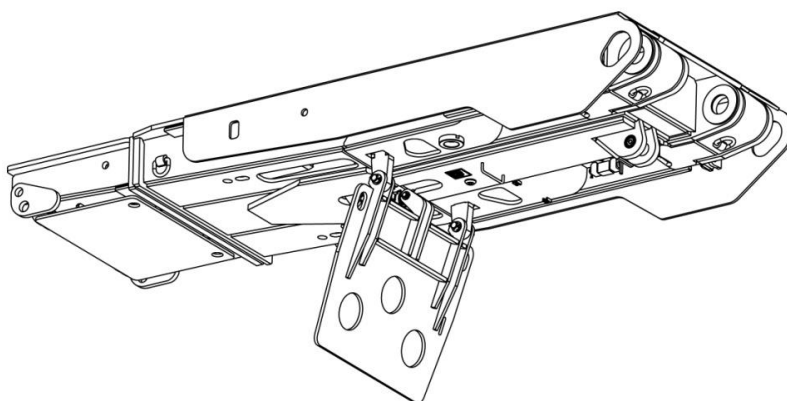


Rys. 4.17. Osłona czoła ściany odchylana do stropu [112]



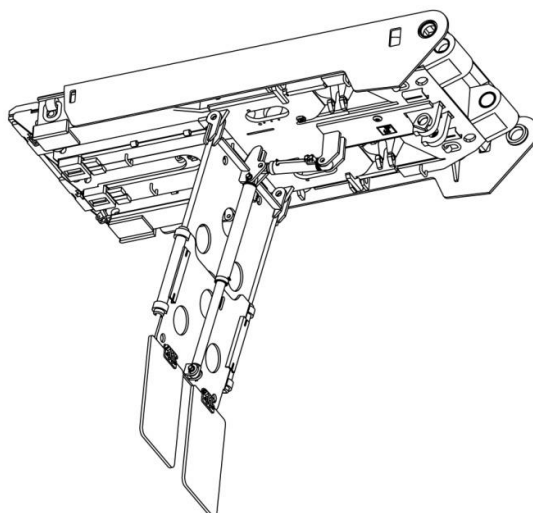
Rys. 4.18. Dwuczęściowa osłona czoła ściany [119]

Osłona przejścia, w podstawowej wersji, ma postać płyty zamocowanej przegubowo do stropnicy w środkowej jej części i odchylanej siłownikiem hydraulicznym. W przypadku osłony o stałej długości jest to pojedyncza płyta (rys. 4.19).



Rys. 4.19. Jednoczęściowa osłona przejścia [114]

Stosowany jest również zespół płyt z możliwością zmiany całkowitej długości osłony, w sposób skokowy ręcznie lub płynnie za pomocą dodatkowego siłownika (rys. 4.20). W ścianach wysokich często stosuje się dodatkowe dalsze przedłużenie osłony przejścia za pomocą elementu elastycznego, np.: wykonanego z odcinków taśmy przenośnikowej.

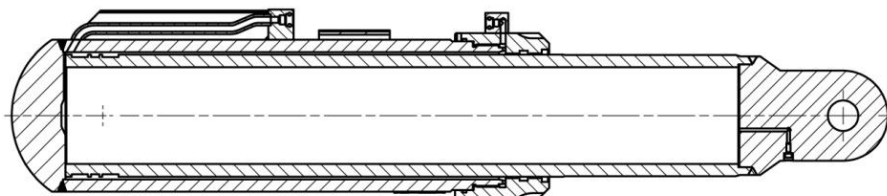


Rys. 4.20. Dwuczęściowa osłona przejścia [127]

4.2. Zespoły hydrauliki siłowej

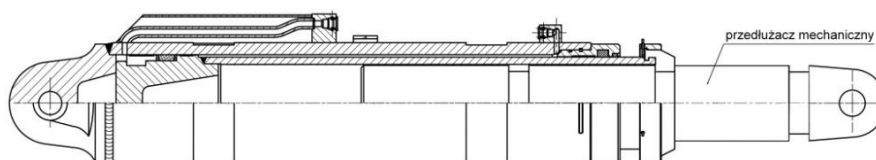
W sekcji obudowy zmechanizowanej zastosowano cały szereg siłowników hydraulicznych. Najważniejsze, bo decydujące o podporności sekcji obudowy to oczywiście stojaki hydrauliczne i podpory stropnicy. Stojaki hydrauliczne, rozparte pomiędzy spągnicą i stropnicą lub osłoną odzawałową, umożliwiają podparcie stropu i decydują o bezpieczeństwie stanowiskowym i procesowym. Różnią się budową oraz parametrami, takimi jak: średnica, ciśnienie robocze, zakres długości. Najczęściej stosowane są stojaki o średnicy cylindra od 200 mm do 400 mm, ciśnieniu roboczym od 34 MPa do 48 MPa i podporności roboczej od 1,2 MN do 4,8 MN. Wyróżnić należy stojaki jednoteleskopowe, jednoteleskopowe z przedłużaczem mechanicznym lub hydraulicznym oraz dwuteleskopowe i dwuteleskopowe z przedłużaczem mechanicznym. Z uwagi na niezawodność najkorzystniejszym rozwiązaniem jest stojak jednoteleskopowy (rys. 4.21), gdyż charakteryzuje go najmniejsza liczba elementów mogących ulec awarii. W stojaku przedstawionym na rysunku 4.21 jest tylko jeden tłok hydrauliczny i dwa węzły uszczelniające: tłoka i dławnicy cylindra, z czego tylko węzeł tłokowy decyduje o skuteczności podparcia stropu. Stojak ten ma też niestety wadę – stosunkowo niewielki skok hydrauliczny, ograniczający w istotny sposób zakres wysokości geometrycznej sekcji obudowy. Zakres wysokości stosowania sekcji jest jeszcze mniejszy, gdyż stojak nie powinien pracować w dolnym zakresie swojej długości, z uwagi na umożliwienie jego zsuwu pod wpływem obciążenia zewnętrznego. Przyjmuje się, że w zakresie

wysokości pracy sekcji obudowy tłok powinien być wysunięty co najmniej 200÷300 mm (zapas na zsuniecie pod obciążeniem).

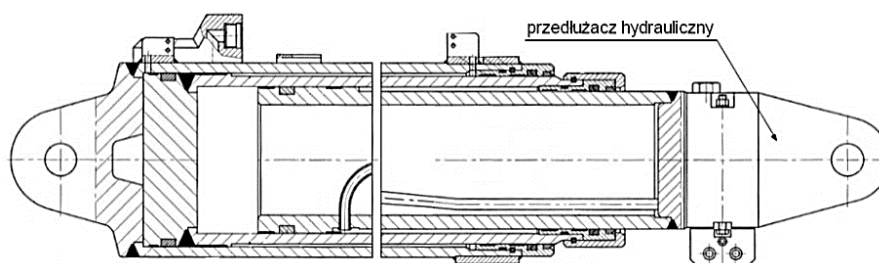


Rys. 4.21. Stojak jednoteleskopowy [91]

Niewielki skok hydrauliczny stojaka jednoteleskopowego częściowo niweluje zastosowanie przedłużacza mechanicznego (rys. 4.22) lub hydraulicznego (rys. 4.23). Wadą rozwiązania jest konieczność przebudowy (zmiany długości) przedłużacza w trakcie biegu ściany przy znaczącej zmianie jej wysokości. Ponadto występuje niebezpieczeństwo pracy stojaka w dolnym zakresie wysuwu hydraulicznego, jeżeli przedłużacz jest wysunięty, a obsługa sekcji nie zsuwa go przy zmniejszającej się wysokości ściany. Przedłużacz mechaniczny jest też niekorzystnym rozwiązaniem w przypadku obciążenia dynamicznego.



Rys. 4.22. Stojak jednoteleskopowy z przedłużaczem mechanicznym [123]

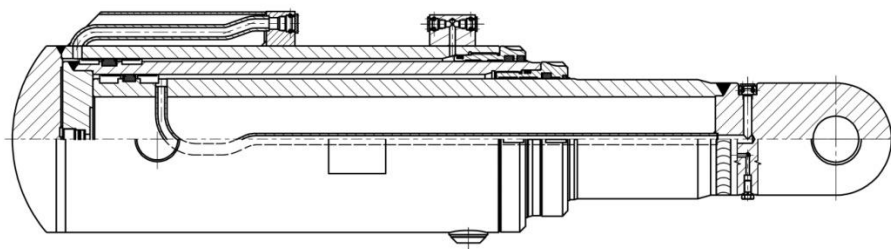


Rys. 4.23. Stojak jednoteleskopowy z przedłużaczem hydraulicznym [108]

W przestrzeni roboczej przedłużacza hydraulicznego występuje znacznie większe ciśnienie niż pod tłokiem stojaka w skutek zjawiska multiplikacji ciśnienia. Ponieważ średnica tłoka przedłużacza jest mniejsza od średnicy tłoka

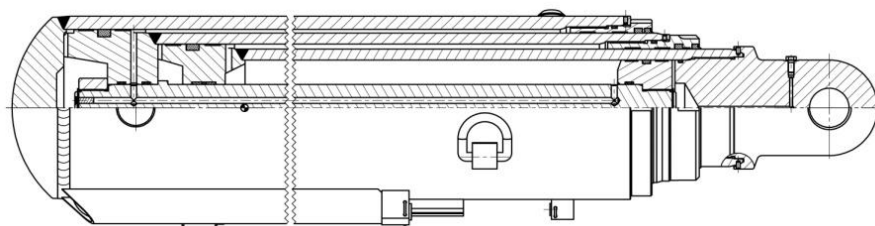
stojaka, to obciążenie zewnętrzne stojaka wymusza powstanie większego ciśnienia pod tłokiem przedłużacza niż pod tłokiem stojaka. Tym samym przestrzeń robocza przedłużacza hydraulicznego powinna być zabezpieczona odrębnym zaworem bezpieczeństwa, ustawionym na znacznie wyższe ciśnienie niż zawór zabezpieczający przestrzeń roboczą pod tłokiem stojaka. Zakres możliwych nastaw zaworów jest ograniczony więc ciśnienie robocze stojaka z przedłużaczem hydraulicznym jest z konieczności niższe od ciśnienia roboczego stojaka bez przedłużacza hydraulicznego. W praktyce w stojakach bez przedłużacza hydraulicznego stosuje się nastawy zaworów roboczych o wartościach do 48 MPa, a z przedłużaczem hydraulicznym nieprzekraczającej 40 MPa. Można zatem stwierdzić, że ze względu na bezpieczeństwo konstrukcji stojaka przedłużacz hydrauliczny obniża możliwą do uzyskania podporność roboczą sekcji obudowy.

Obecnie najczęściej nowo konstruowane sekcje obudowy wyposaża się w stojaki o dwóch stopniach hydraulicznych. Charakteryzują się one znacznie większym skokiem hydraulicznym niż stojaki jednostopniowe o tej samej długości minimalnej. Pozwalają one zatem uzyskać znacznie większy zakres wysokości roboczej sekcji. W nowszych konstrukcjach sekcji obudowy spotyka się dwie odmiany stojaków dwuteleskopowych, z zaworem międzystopniowym i multiplikacją ciśnienia (rys. 4.24) oraz z tzw. trzecim tłokiem bez multiplikacji ciśnienia (rys. 4.25). Ze względu na prostszą konstrukcję i koszty z tym związane częściej stosowany jest stojak z zaworem międzystopniowym.



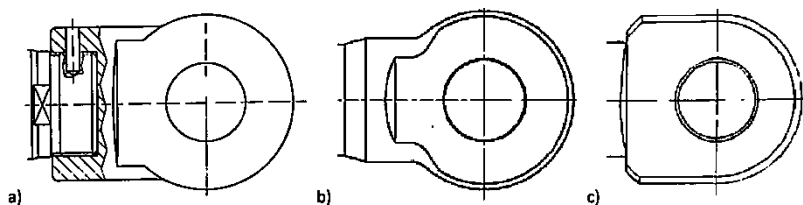
Rys. 4.24. Stojak dwuteleskopowy z zaworem międzystopniowym [121]

Stojak dwuteleskopowy bez multiplikacji ciśnienia (z tzw. trzecim tłokiem) jest trudniejszy technologicznie, ze względu na wymaganą bardzo dużą dokładność wykonania. Występuje w nim kilka elementów, których współosiowość decyduje o poprawnym działaniu stojaka. Z tego względu nie każdy producent podejmuje się wykonania takiego stojaka.



Rys. 4.25. Stojak dwuteleskopowy z tzw. trzecim tłokiem [117]

Do wzajemnego korygowania położenia stropnicy i osłony odzawałowej w jednoszeregowych sekcjach obudowy zmechanizowanej stosuje się tzw. podpórę stropnicy. Podpora stropnicy to jednostopniowy siłownik dwustronnego działania, łączący stropnicę z osłoną odzawałową. Podpora stropnicy wpływa również na podporność sekcji obudowy. Poza średnicą cylindra i rdzennika postać konstrukcyjna podpór stropnicy może różnić się sposobem zamocowania końcówki przyłączeniowej rdzennika (rys. 4.26).

Rys. 4.26. Różne sposoby zakończenia rdzennika podpory stropnicy
[źródło: opracowanie własne]

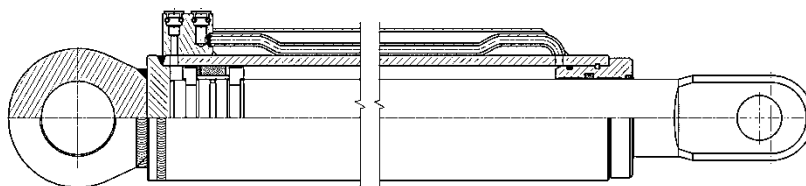
a) końcówka nakręcana, b) końcówka kuta, c) końcówka toczona

Obecnie stosowane są głównie sposoby „b” i „c”, ponieważ połączenie gwintowe rodzaju „a” charakteryzowało się dużą awaryjnością (wrywanie gwintu).

Siłownikiem, umożliwiającym przesuwanie sekcji obudowy i przekładkę przenośnika ścianowego jest przesuwnik sekcji. Jest to siłownik jednostopniowy. Stosowane konstrukcje przesuwnika sekcji mogą różnić się zarówno średnicą cylindra i rdzennika, jak i sposobem połączenia z belką układu przesuwego czy sposobem zasilania hydraulicznego. Ze względu na możliwość ich uszkodzenia w kontakcie z materiałem skalnym zawału, przesuwniki sekcji w większości przypadków zwrócone są cylindrem w stronę zawału. Najbardziej podatna na uszkodzenia gładź rdzennika, jest w tym przypadku chroniona przez sekcję obudowy od bezpośrednich uderzeń skał. Należy wyróżnić dwa podstawowe

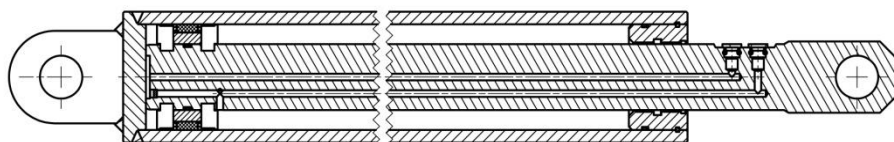
sposoby połączenia przesuwника sekcji z belką układu przesuwnego: poprzez ucho umieszczone na końcu cylindra lub poprzez czopy umieszczone na bocznej powierzchni cylindra. Sposoby te zaprezentowano na rysunkach 4.11, 4.12 i 4.13 w części rozdziału 4.1, poświęconej układom przesuwным. W niektórych sekcjach obudowy zmechanizowanej można jeszcze spotkać przesuwnik zwrócony drągiem tłokowym w stronę zawalu. Jest to rozwiązanie niekorzystne ze względu na częste uszkodzenia powierzchni rdzennika przez skały zawalowe.

W przesuwnikach sekcji obudowy stosuje się dwa sposoby zasilania hydraulicznego, poprzez przyłącza na powierzchni zewnętrznej cylindra (rys. 4.27) oraz poprzez przyłącza na końcu rdzennika i wykonane w nim kanały rozprowadzające (rys. 4.28).



Rys. 4.27. Przesuwnik sekcji zasilany przez przyłącza na powierzchni zewnętrznej cylindra [109]

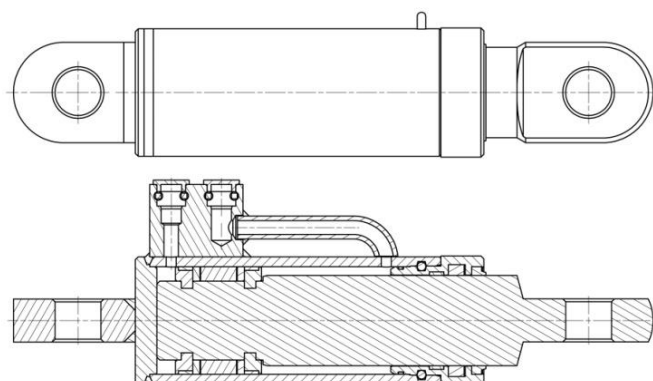
W przypadku, gdy cylinder przesuwника połączony jest z belką układu przesuwnego, a jego rdzennik ze spągnicą, to korzystniejszym rozwiązaniem jest zasilanie hydrauliczne poprzez rdzennik. W tym przypadku miejsce przyłączenia przewodów hydraulicznych nie przesuwa się podczas kroczenia sekcji obudowy, nie trzeba zostawiać zapasu długości przewodów hydraulicznych na wykonanie kroku sekcji i przewody te są mniej narażone na uszkodzenia mechaniczne.



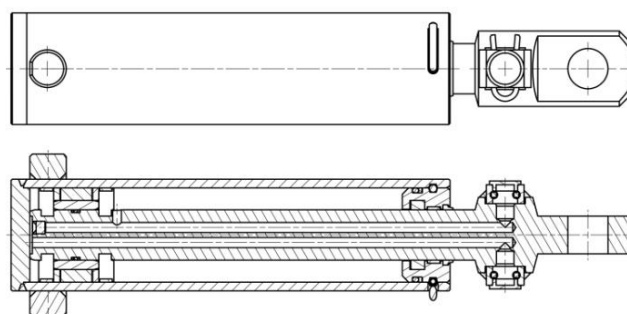
Rys. 4.28. Przesuwnik sekcji zasilany przez przyłącza na końcu rdzennika [115]

Podobnie jak w przypadku podpory stropnicy, w przesuwnikach sekcji stosuje się różne końcówki rdzennika, łączące przesuwnik ze spągnicą (rys. 4.26). Najmniej awaryjne są końcówki wykonywane bez operacji łączenia elementów, tzn. kute i toczone w całości z rdzennikiem.

W sekcji obudowy zmechanizowanej są stosowane jeszcze inne siłowniki realizujące funkcje pomocnicze, równie istotne w aspekcie bezpiecznego funkcjonowania całej sekcji. Są to między innymi: siłowniki korekcji bocznej stropnicy i osłony odzawałowej, siłowniki osłony czoła i osłony przejścia, siłownik korekcji spągnicy i siłownik podnoszenia spągnicy. Siłowniki te różnią się średnicą cylindrów i rdzenników, a co za tym idzie siłami oddziaływania na zespoły sekcji obudowy. Siłowniki korekcji bocznej stropnicy i osłony odzawałowej stosowane są we wszystkich sekcjach obudowy przeznaczonych do ścian zawałowych. Siłowniki te współpracują z osłonami bocznymi sekcji obudowy. Ich zadaniem jest korygowanie ustawienia sekcji w ścianie podczas jej przesuwania oraz zabezpieczenie przed skałami opadającymi od strony stropu i zawału. Główne różnice konstrukcyjne tych siłowników polegają na rozmieszczeniu przyłączy hydraulicznych. Najczęściej spotyka się przyłącza na powierzchni zewnętrznej cylindra, zarówno pojedyncze, jak i podwójne z dodatkowym przewodem zasilającym (rys. 4.29). Rzadziej stosowane są siłowniki korekcyjne zasilane poprzez rdzennik (rys. 4.30). Wybór sposobu zasilania zależy od warunków zabudowy siłownika w sekcji. Warunki te wpływają również na końcówki przyłączeniowe siłowników korekcyjnych. Spotyka się tu dwie główne odmiany końcówki rdzennika: z uchem stanowiącym całość z rdzennikiem oraz z uchem nakręcanym na końcówkę rdzennika.



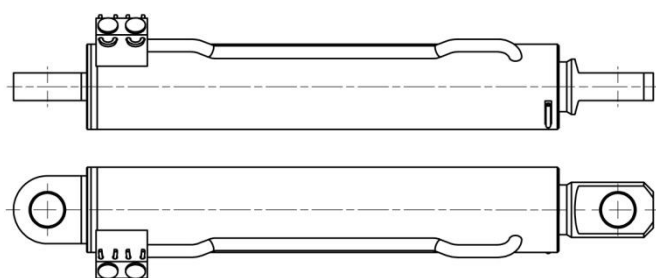
Rys. 4.29. Siłownik korekcyjny – zasilanie na zewnętrznej powierzchni cylindra [120]



Rys. 4.30. Siłownik korekcyjny – zasilanie przez rdzennik [126]

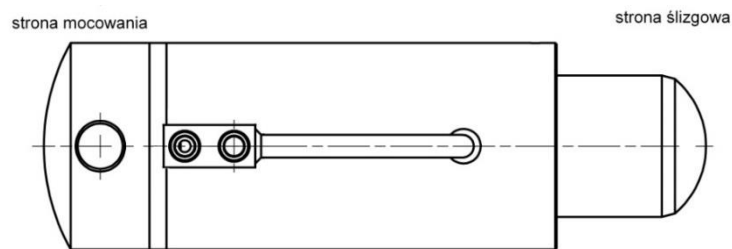
Częściej we wcześniejszych konstrukcjach sekcji obudowy spotykane jest ucho nakręcane, a w nowszych stanowiące monolit z drążkiem rdzennika.

Najmniejsze różnice konstrukcyjne występują w przypadku siłowników do wychylania osłony czoła ściany i osłony przejścia. Są to siłowniki jednostopniowe, zaopatrzone w ucha spawane na końcu cylindra i ucha toczone na końcu rdzennika (rys. 4.31). Warunki pracy tych siłowników w konstrukcji obudowy nie wymuszają stosowania nietypowych rozwiązań zarówno konstrukcyjnych, jak i nietypowych sposobów ich zasilania hydraulicznego. Wszystkie tego typu siłowniki są zasilane przez cylinder.



Rys. 4.31. Typowy siłownik osłony czoła ściany i osłony przejścia [116]

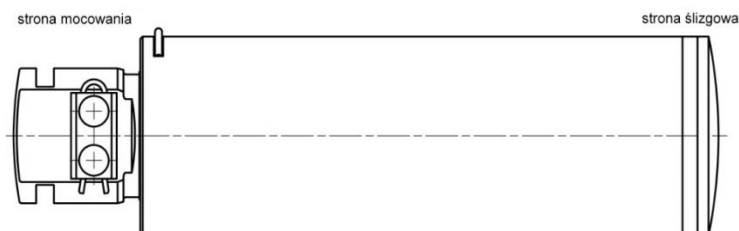
W ścianach nachylonych podłużnie spągnice sekcji obudowy wyposaża się w siłownik lub układ umożliwiający skorygowanie położenia spągnicy podczas przesuwania sekcji. Jest to siłownik jednostopniowy o budowie elementów mocowania i zasilania uzależnionej od sposobu zabudowy w spągnicy. Siłownik taki może odpychać spągnicę od spągnicy sekcji sąsiedniej bezpośrednio lub poprzez dodatkowy układ dźwigni. W układzie bezpośrednim siłownik może być zamocowany w spągnicy poprzez cylinder i odpychać się od sąsiedniej spągnicy rdzennikiem (rys. 4.32) lub poprzez rdzennik, a odpychać się cylindrem (rys. 4.33).



Rys. 4.32. Siłownik korekcji spągnicy (odpychanie rdzennikiem)
[źródło: opracowanie własne]

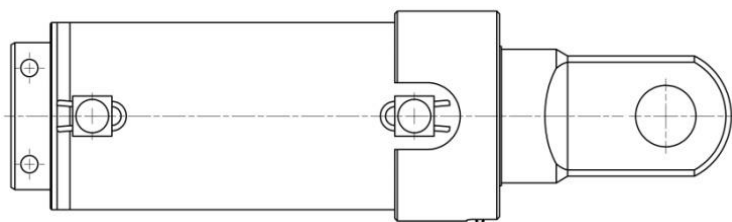
Tarcie pomiędzy końcówką siłownika i powierzchnią spągnicy sąsiedniej sekcji wywołuje niekorzystne zginanie siłownika i jego awarie. Rzadziej awarii ulegają siłowniki współpracujące dnem cylindra ze spągnicą sekcji sąsiedniej.

Ze względu na awaryjność tych rozwiązań wprowadzono element pośredni w formie wyprofilowanej belki, którą porusza siłownik, a belka ta ma kontakt ze spągnicą sekcji sąsiedniej.



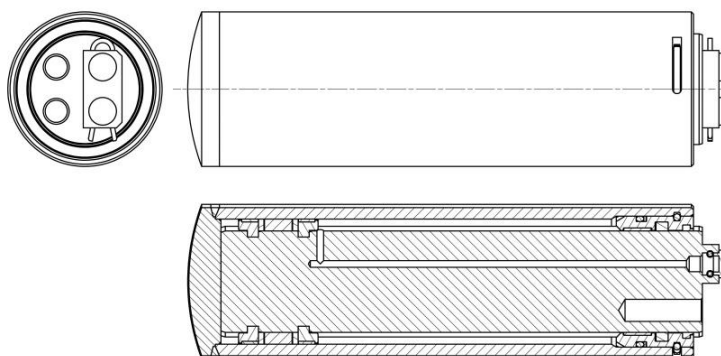
Rys. 4.33. Siłownik korekcji spągnicy (odpychanie cylindrem) [118]

W układzie z belką pośrednią stosuje się siłowniki jednostopniowe mocowane cylindrem do spągnicy, a rdzennikiem do belki pośredniej (rys. 4.34). Siłowniki różnią się tylko końcówkami mocującymi i sposobem zasilania hydraulicznego. Praca w takiej konfiguracji znacząco poprawia trwałość siłowników korekcji spągnicy.

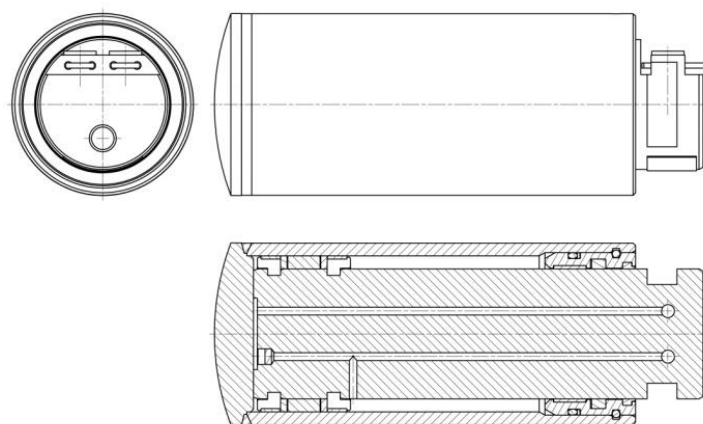


Rys. 4.34. Siłownik korekcji spągnicy (stosowany w układzie z belką pośrednią)
[125]

Podobnie do siłowników korekcji spągnicy pracują siłowniki podnoszenia spągnicy. Mocowane są one do spągnicy w układzie pionowym i oddziałują bezpośrednio na belkę układu przesuwne. Efektem pracy siłownika jest uniesienie przedniej części spągnicy w celu ułatwienia przekładki sekcji obudowy po miękkim spągu. Kontakt siłownika z belką układu przesuwne następuje przez cylinder. Siłownik jest zabudowany w specjalnym uchwycie niwelującym siły poprzeczne wynikające z tarcia siłownika o belkę układu przesuwne. W uchwycie siłownik zamocowany jest rdzennikiem. Stosuje się siłowniki różniące się sposobem mocowania rdzennika i sposobem zasilania hydraulicznego (rys. 4.35 i 4.36).



Rys. 4.35. Siłownik podnoszenia spągnicy (mocowanie i zasilanie od czoła rdzennika) [116]



Rys. 4.36. Siłownik podnoszenia spągnicy (mocowanie i zasilanie z boku rdzennika) [113]

Różnorodność postaci konstrukcyjnej poszczególnych zespołów sekcji, przedstawiona w niniejszym rozdziale, jest wynikiem wieloletnich obserwacji, doświadczeń i doskonalenia poszczególnych rozwiązań. Dzięki opisanej powyżej ewolucji postaci konstrukcyjnej zespołów sekcji, współcześnie produkowane sekcje obudowy zmechanizowanej cechuje duża niezawodność spawanych elementów podstawowych sekcji. Awaryjność zespołów hydrauliki siłowej jest większa, ale wynika głównie z niewłaściwego użytkowania powodującego uszkodzenia mechaniczne, np. roboty strzałowe. Najczęściej przyczyną awarii jest mechaniczne lub korozyjne uszkodzenie powierzchni współpracujących z węzłami uszczelniającymi, co skutkuje utratą funkcjonalności siłowników.

5. Interakcja sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem

Podstawową funkcją sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej jest zapewnienie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego w wyrobisku ścianowym. Jest ona realizowana poprzez zapewnienie równowagi bryły stropu bezpośredniego oraz nie dopuszczenie do przedostawania się odłamków skał do przedziału roboczego wyrobiska. Wieloletnie prace teoretyczne oraz pomiary i obserwacje dołowe doprowadziły do sformułowania szeregu metod doboru parametrów technicznych sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków geologiczno-górnich panujących w wyrobisku ścianowym. Różnorodność czynników, które uwzględnia się rozpatrując interakcję obudowy wyrobiska i górotworu sprawia, że najczęściej metoda doboru sekcji do danych warunków sprowadza się do sprawdzenia określonego warunku kryterialnego, a nie do wyznaczenia, na przykład: przedziału zmienności cechy geometrycznej, czy też parametru technicznego sekcji, zapewniającego poprawną współpracę sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem. Tak więc stosując poszczególne opracowane metody doboru sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków geologiczno-górnich można jedynie pośrednio analizować wpływ cech geometrycznych i parametrów technicznych sekcji na zapewnienie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego w wyrobisku ścianowym.

Poniżej przeanalizowano, stosowane w kraju i za granicą, metody doboru obudowy zmechanizowanej do warunków panujących w wyrobisku w aspekcie uwzględnienia w nich parametrów technicznych sekcji obudowy zmechanizowanej.

5.1. Badania interakcji sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem prowadzone w wybranych ośrodkach zagranicznych

Problematyka doboru sekcji obudowy zmechanizowanej do określonych warunków panujących w wyrobisku jest od wielu lat rozwiązywana w różnych ośrodkach naukowych na świecie. W szczególności w drugiej połowie XX wieku opracowano wiele metod empirycznych korzystając głównie z obserwacji i pomiarów dołowych. Jakkolwiek, w większości przypadków, metody te ze względu na przyjmowane uproszczenia i bazowanie na wynikach pomiarów dołowych wykonanych w określonych warunkach, mają znaczenie głównie historyczne, to są nadal stosowane w różnych krajach.

Jedną z najszerzej znanych metod wyznaczania obciążenia działającego na obudowę wyrobiska ścianowego prowadzonego na zawał, jest metoda Wilsona [99]. Na podstawie obserwacji przeprowadzonych w kopalniach brytyjskich, przyjęto założenie, że podporność obudowy powinna utrzymać w równowadze bloki skalne tworzące się w stropie bezpośrednim. Wysokość pojedynczego bloku wyznaczono ze wzoru [99]:

$$c = \frac{h}{K - 1} \quad (5.1)$$

gdzie:

- h – wysokość ściany
- K – współczynnik rozluźniania skał

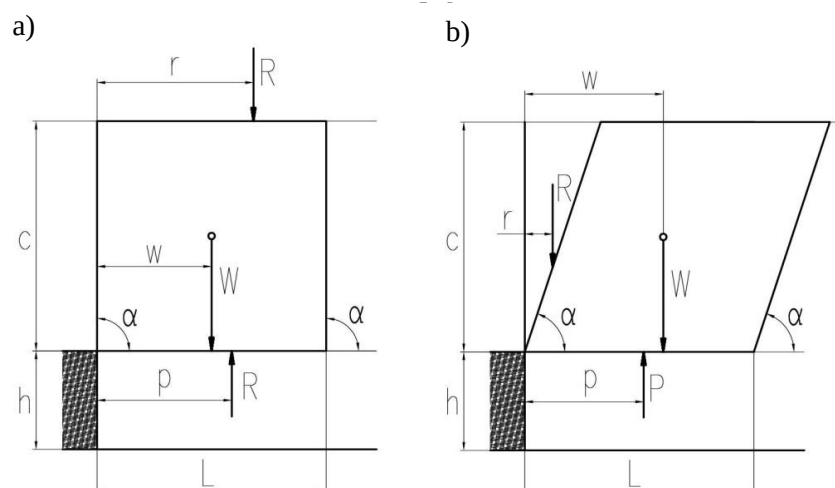
W metodzie Wilsona przyjęto, że dla skał karbońskich współczynnik – K rozluźniania skał wynosi 1,5. Wynika stąd, że wysokość – c bloku skalnego obciążającego obudowę jest dwukrotnie większa od wysokości ściany.

W zależności od rodzaju skał stropowych, charakteryzowanych przez tzw. kąt zawału, oznaczony na rysunku 5.1 symbolem α , prosta działania ciężaru – W stropowej bryły obciążającej sekcję obudowy przechodzi przez przednią część przekroju wyrobiska (rys. 5.1a) lub jest bardziej odsunięta od czoła ściany i przechodzi przez tylną część przekroju ściany (rys. 5.1b).

Oprócz ciężaru – W uciepionego w środku ciężkości bryły, na stropową bryłę górotworu działają:

- pionowa siła P – wynikająca z podporności sekcji,
- pionowa siła R – oddziaływania stropu zasadniczego na blok stropu bezpośredniego.

Przyjęto, że jeżeli proste działania sił P i W pokrywają się, to oddziaływanie – R stropu zasadniczego jest wektorem zerowym.



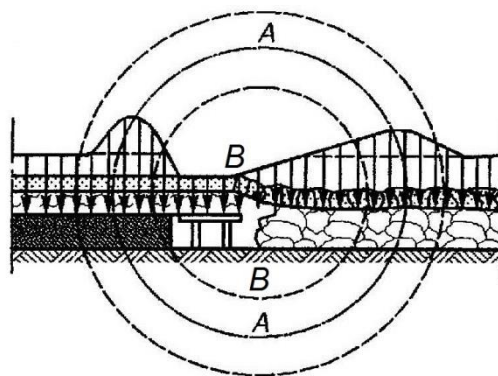
Rys. 5.1. Bloki skalne obciążające sekcję obudowy według metody Wilsona [99]

- a) – ciężar – W bloku skalnego położony w przedniej części przekroju wyrobiska,
 b) – ciężar – W bloku skalnego położony w tylnej części przekroju wyrobiska

W metodzie Wilsona zagadnienie współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem rozpatrywano nie uwzględniając wpływu reakcji pokładu i reakcji zrobów na równowagę stropowej bryły górotworu. Ponadto w pracy [66] zwrócono uwagę na konieczność precyzyjniejszego niż w metodzie Wilsona wyznaczenia wartości współczynnika – K rozluźnienia skał w rozpatrywanych warunkach geologiczno-górnich, gdyż współczynnik ten ma istotny wpływ na obciążenie obudowy wyrobiska.

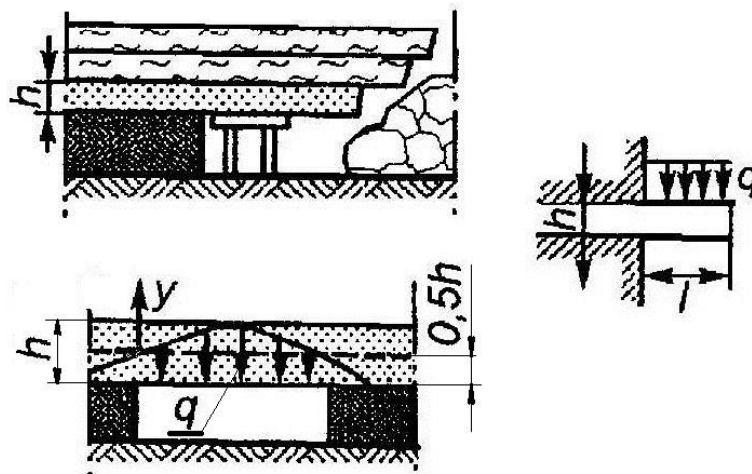
Szereg hipotez dotyczących określenia nacisku górotworu na obudowę wyrobiska ścianowego opracowano również w Rosji. W większości przypadków do opisu współpracy obudowy wyrobiska z górotworem stosowano modele ośrodka ciągłego, przyjmując różne założenia upraszczające.

Przykładowo w hipotezie sklepienia, sformułowanej przez W. Rittera i rozwiniętej przez M. M. Protodikonowa [47] przyjęto, że na obudowę działa ciężar skał zalegających pomiędzy stropem wyrobiska a sklepieniem, które utworzy się w masywie skalnym po oderwaniu się skał nad wyrobiskiem (rys. 5.2).



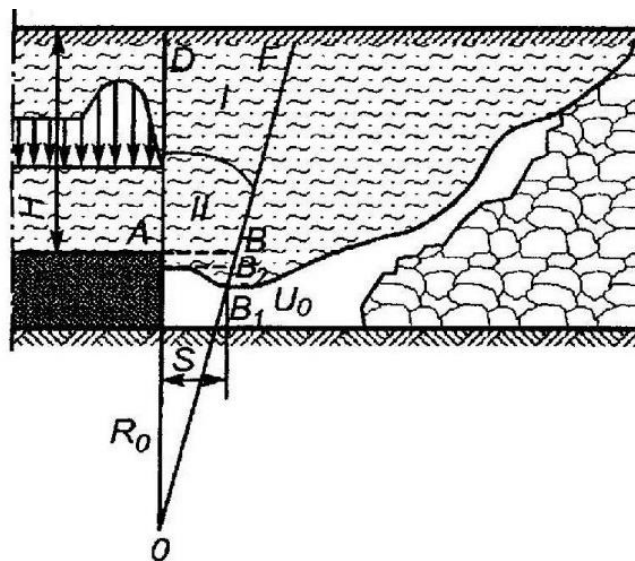
Rys. 5.2. Założenia hipotezy sklepienia [47]

Opracowując hipotezę płyt (W. D. Slesariev) [47] modelowano górotwór w postaci płyty wspornikowej obciążającej obudowę. Obciążenie obudowy oraz jej podatność wyznaczono w sposób uproszczony, traktując skały stropowe jako belkę wspornikową obciążoną w sposób ciągły (rys. 5.3).



Rys. 5.3. Hipoteza płyt – schematy wyznaczania obciążenia obudowy wyrobiska [47]

W hipotezie promieniowych przemieszczeń stropu (K. B. Ruppenejt) [47] założono, że w stropie wyrobiska powstaje strefa w postaci klina (rys. 5.4), w której skały, wskutek odkształceń sprężysto – plastycznych przemieszczają się promieniowo w stronę środka krzywizny warstw stropu. Na tej podstawie wyznaczono przemieszczenia skał otaczających wyrobisko.



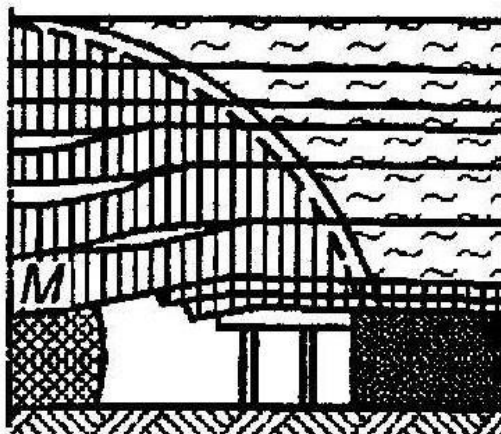
Rys. 5.4. Założenia hipotezy promieniowych przemieszczeń stropu [47]

W hipotezie F. Intersona, górotwór traktuje się jako ośrodek sypki złożony z niezależnych odłamków i wyciskany w stronę wyrobiska z obszaru, w którym panuje ciśnienie pierwotne [47].

W hipotezie uwarstwionego zginania i osiadania stropu (A. German, K. Kegel) górotwór traktowany jest jako zbiór oddzielnych warstw skalnych (rys. 5.5) poddawanych zginaniu i okresowemu łamaniu. Zgodnie tą hipotezą obciążenie obudowy zależy od ciężaru właściwego i wytrzymałości warstw stropu na zginanie.

Większość omawianych hipotez opisujących górotwór naruszony, powstała w latach 50-tych XX wieku. Nie zostały one jednak wdrożone do praktyki górniczej, gdyż nie uwzględniały wielu istotnych czynników wpływających na kształtowanie się górotworu naruszonego oraz jego interakcję z obudową i wybieranym pokładem [47].

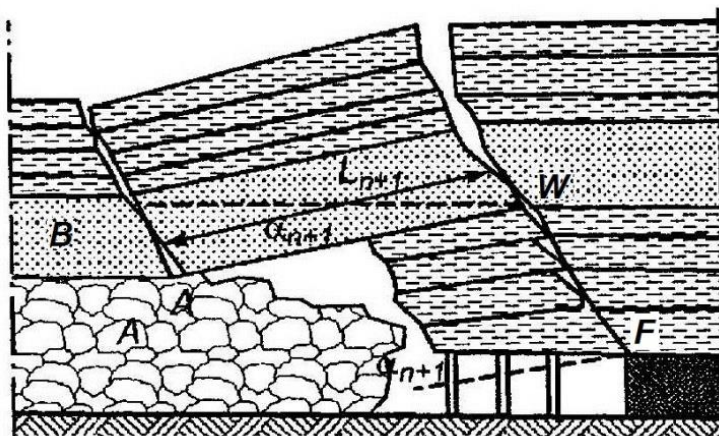
Rozwinięciem hipotezy płytowej struktury górotworu są hipotezy kształtowania się w górotworze przegubowej struktury utworzonej przez odrębne bloki skalne.



Rys. 5.5. Założenia hipotezy uwarstwionego zginania i łamania warstw stropu [47]

Zgodnie z hipotezą G. N. Kuzniecowa (rys. 5.6) naruszenie równowagi skał nad wyrobiskiem skutkuje wykształceniem się stref nieuporządkowanego ruchu skał stropu bezpośredniego i uporządkowanego osiadania stropu zasadniczego [47].

Uporządkowany ruch skał stropu zasadniczego jest możliwy dzięki utworzeniu układu wieloprzegubowego przez bloki skalne stykające się ze sobą na płaszczyznach poślizgu. Struktura utworzona przez bloki stropu zasadniczego może przenieść obciążenie spowodowane naciskiem skał nadległych.



Rys. 5.6. Założenia hipotezy Kuzniecowa [47]

W dużym uproszczeniu założenia omawianej hipotezy są zbieżne z metodą dopuszczalnego ugięcia stropu opracowaną przez A. Bilińskiego [5]. Jak zaznaczono w [47] niektóre wnioski sformułowane przez G. N. Kuzniecowa nie

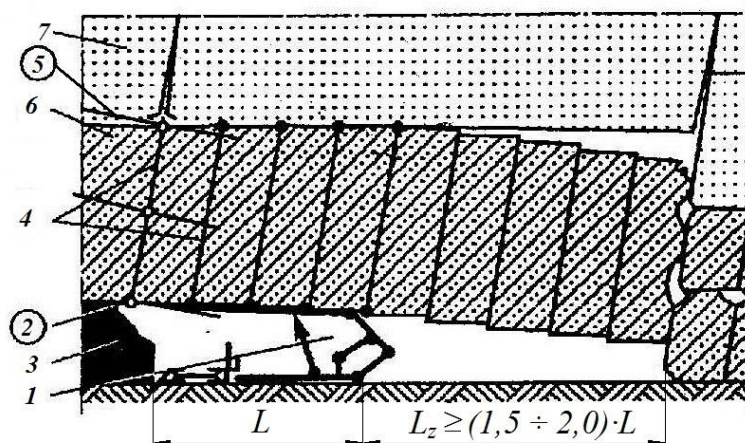
są zgodne z obserwacjami i wynikami pomiarów wykonanych w wyrobiskach. Przykładowo G. N. Kuzniecowa błędnie uważał, że jeżeli, zarówno w stropie bezpośrednim, jak również w stropie zasadniczym będą zalegały warstwy skał o dużej wytrzymałości, to wskutek pęknięcia tych warstw nie będzie występował gwałtowny przyrost obciążenia obudowy, gdyż rozpatrywane warstwy skał będą pękały stopniowo, poczynając od warstw najwyżej leżących [47].

Najnowszą hipotezą omawianą w [47] jest hipoteza kierowania stropem wyrobiska poprzez dostosowanie zmian stanu górotworu do cykliczności pracy sekcji obudowy zmechanizowanej. Została ona opracowana na podstawie analizy wyników badań dołowych współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem. Badania prowadzono w zróżnicowanych warunkach geologiczno-górnictwowych, podczas eksploatacji wyrobisk w pokładach o miąższości od 0,8 m do 5 m.

Podstawowe założenia i zasady hipotezy kierowania stropem wyrobiska zgodnie z cyklicznością pracy sekcji przedstawiono na rysunkach 5.7 i 5.8.

Ciśnienie górotworu i geologiczne anomalie wywołują proces szczelinowania masywu skalnego i osiągnięcie tzw. stanu granicznego, definiowanego jako stan poprzedzający zniszczenie masywu skalnego. Urabianie pokładu powodujące podebranie skał stropu bezpośredniego oraz osiadanie skał stropu zasadniczego powoduje powstanie szczelin wymuszonego kliważu w stropie bezpośrednim, na czole lub przed czołem ściany. Jeżeli podporność sekcji jest niewystarczająca, a strop bezpośredni tworzą skały kruche i drobnoziarniste, to odległość pomiędzy szczelinami kliważu może pokrywać się z szerokością zabioru, wynoszącą około 0,7 m – 0,8 m.

Jeżeli podporność sekcji jest niewystarczająca, a konwergencja skał stropowych znacząca, to w wyniku działania stycznych naprężeń obwodowych, bloki skalne zaczną się przemieszczać wzdłuż płaszczyzn kliważu.



Rys. 5.7. Hipoteza kierowania stropem wyrobiska zgodnie z cyklicznością pracy sekcji – schemat współpracy z górotworem sekcji o umiarkowanej, nie wystarczającej podporności [47] 1– sekcja obudowy zmechanizowanej, 2– kierunek naprężeń obwodowych powodujących odciążenie szczeliny, 3– okład węgla, 4–płaszczyzny wymuszonego kliważu, 5– kierunek obwodowego naprężenia stycznego wywołującego przemieszczenia bloków, 6– strop bezpośredni, 7– strop zasadniczy o dużej wytrzymałości, L – szerokość przedziału wyrobiska zabezpieczonego przez sekcję, L_z – szerokość zawisania stropu

Z obserwacji dołowych wynika, że krok przemieszczania się masywu skalnego jest dwukrotnie większy od szerokości zabioru kombajnu (rys. 5.7). Powstałe w ten sposób bloki skalne wskutek działania sił bocznego rozparcia tworzą samonośną strukturę, zawisającą za sekcją na szerokości – L_z , spełniającej warunek:

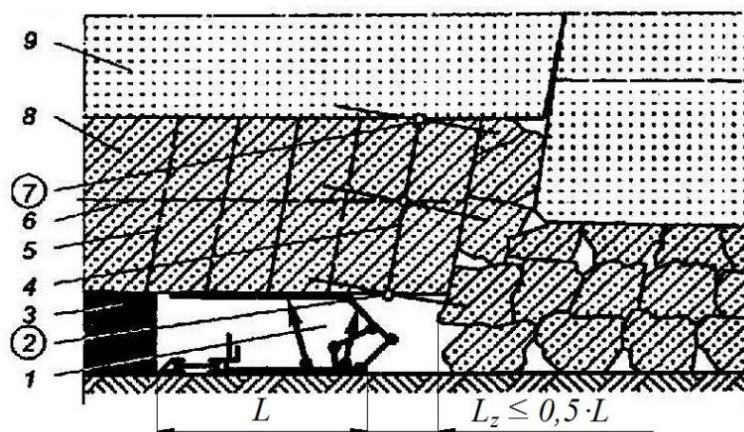
$$L_z \geq (1,5 \div 2,0) \cdot L$$

gdzie:

- L_z – szerokość zawisania stropu,
- L – szerokość przedziału wyrobiska ścianowego zabezpieczona przez sekcję obudowy zmechanizowanej.

W przypadku zawisania stropu na dużej odległości za sekcją, skały stropu zasadniczego również deformują się cyklicznie, co może skutkować ich przełomem wzdłuż płaszczyzny kliważu nad czołem ściany oraz osiadaniem stropu zasadniczego i stropu bezpośredniego. W konsekwencji może to doprowadzić do obwałowania w ścianie.

Jeżeli podporność sekcji jest wystarczająca, lub nadmierna, to nie następuje poślizg skał wzdłuż płaszczyzn kliważu w stropie w rejonie czoła ściany (rys. 5.8).



Rys. 5.8. Schemat współpracy z górotworem sekcji o dużej, wystarczającej, bądź nadmiernej podporności [47] 1– sekcja obudowy zmechanizowanej, 2– kierunek naprężenia obwodowego powodującego odciążenie szczeliny, 3– pokład węgla, 4 – płaszczyzny wymuszonego kliważu, 5– szczeliny wymuszonego kliważu, 6– płaszczyzny uwarstwienia górotworu, 7 – kierunek obwodowego naprężenia stycznego wywołującego przemieszczenia bloków, 8 – strop bezpośredni, 9 – strop zasadniczy o dużej wytrzymałości, L – szerokość przedziału wyrobiska zabezpieczonego przez sekcję, L_z – szerokość zawisania stropu

Uginanie się stropu nad przedziałem roboczym ściany jest ograniczone. Wskutek cyklicznego działania podporności sekcji na strop w stropie nad sekcją powstają dodatkowe płaszczyzny spękań. Na podstawie obserwacji dołowych stwierdzono, że szczeliny kliważu w stropie podpartym sekcją o wystarczającej podporności, uaktywniają się z krokiem równym dwóm lub trzem szerokościom zabioru.

Przełom skał stropu bezpośredniego występuje w odległości – L_z od czoła ściany, spełniającej warunek:

$$L_z \leq 0,5 \cdot L$$

gdzie:

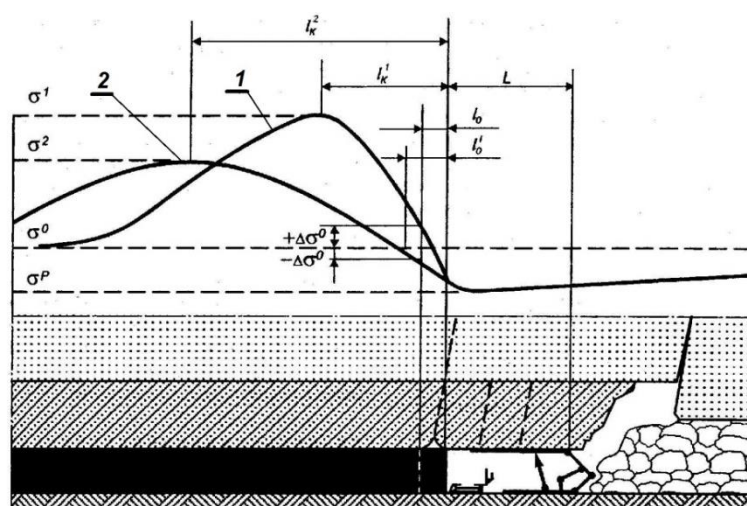
- L_z – szerokość zawisania stropu,
- L – szerokość przedziału wyrobiska ścianowego zabezpieczona przez sekcję obudowy zmechanizowanej.

Korzystając z wyników przeprowadzonych badań dołowych stwierdzono, że w wyrobiskach ścianowych prowadzonych w pokładach węgla o miąższości rzędu 2 m zalegających pod trudno rabującym się stropem, dwukrotnie

zwiększenie podporności roboczej sekcji (od $360 \div 400 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ do $900 \div 1000 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$) spowodowało, że konwergencja stropu zmniejszyła się o $50 \div 70\%$. W przedziale roboczym ściany, uzyskano poprawne bądź dobre warunki utrzymania stropu; około 2,5 krotnie zmniejszyły się rozmiary bloków skalnych powstających w stropie bezpośrednim. Szerokość stropu zawisającego za sekcją zmniejszyła się $3 \div 4$ krotnie. Skłonność do kruszenia się skał stropu bezpośredniego zwiększyła się $3 \div 4$ krotnie, a wysokość podsadzenia stropu zasadniczego zwiększyła się $1,5 \div 2,5$ krotnie. Krok osiadania stropu zasadniczego zwiększył się $1,2 \div 1,3$ krotnie, przy czym równocześnie zmniejszyła się intensywność zjawisk towarzyszących osiadaniu stropu zasadniczego [47].

Unikalne badania dołowe stanu naprężenia w otoczeniu wyrobiska ścianowego umożliwiły uszczegółowienie hipotezy cyklicznego odciążania górotworu zgodnie z cyklem pracy sekcji obudowy zmechanizowanej oraz wyznaczenie przebiegu zmian naprężenia pionowego w stropie, w zależności od podporności sekcji (rys. 5.9).

W przypadku niewystarczającej podporności sekcji maksymalne naprężenie pionowe, oznaczone na rysunku 5.9 jako σ^1 , występuje w odległości l_k^1 od czoła ściany.



Rys. 5.9. Uogólniony wykres zmiany naprężenia pionowego w stropie [47]:
1 – w przypadku niewystarczającej podporności sekcji, 2 – w przypadku wystarczającej podporności sekcji

Jeżeli podporność sekcji jest wystarczająca, to maksymalne naprężenie pionowe σ^2 jest około $1,5 \div 2$ krotnie mniejsze od maksymalnego naprężenia σ^1 , występującego w stropie przy niewystarczającej podporności sekcji. Ponadto naprężenie σ^2 występuje w odległości $-l_k^2$, dwukrotnie większej od odległości $-l_k^1$ (rys. 5.9).

W aspekcie stanu utrzymania stropu wyrobiska istotne są wartości naprężenia nad calizną węglową w odległości od czoła ściany, równej szerokości zbioru $-l_o$. Jak zaznaczono na rysunku 5.9, w przypadku niewystarczającej podporności sekcji naprężenie pionowe w odległości $-l_o$ od czoła ściany jest o $+\Delta\sigma^0$ większe od naprężenia pierwotnego σ^0 . Jeżeli podporność sekcji jest wystarczająca, to naprężenie pionowe w odległości l_o jest o $-\Delta\sigma^0$ mniejsze od pierwotnego. W tych warunkach istnieje więc możliwość zwiększenia szerokości zbioru do l_o' [47].

Metoda doboru sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków panujących w wyrobisku ścianowym, opracowana i stosowana w USA bazuje na modelu matematycznym współpracy sekcji z górotworem, zbudowanym z wykorzystaniem wyników badań dołowych zrealizowanych w 23 ścianach, prowadzonych w 8 pokładach [65]. Opracowany model matematyczny służy do wyznaczania podporności wstępnej i podporności roboczej sekcji, w zależności od: charakterystyki stropu bezpośredniego i zasadniczego, w szczególności: od grubości i właściwości wytrzymałościowych poszczególnych warstw skał zalegających w stropie wyrobiska oraz od sztywności wszystkich elementów przenoszących obciążenie wywoływane przez górotwór, a więc: pokładu węgla, zrobów i sekcji obudowy.

Korzystając z wyników pomiarów wykonanych w wyrobiskach stwierdzono, że konwergencja stropu zależy od warunków geologiczno-górnich oraz od podporności sekcji. Innymi słowy: w tych samych warunkach geologiczno-górnich zmiana podporności sekcji w trakcie cyklu jej pracy jest uzależniona od podporności wstępnej sekcji, ale przy tej samej podporności wstępnej zmiana podporności sekcji w trakcie cyklu pracy będzie zależna od zmieniających się warunków geologicznych. Zgodnie z opracowanym modelem, zmianę jednostkowej podporności sekcji $-\Delta q$ określa wzór:

$$\Delta q = a \cdot q_s^2 \cdot e^{-c \cdot q_s} \quad (5.2)$$

gdzie:

- Δq – zmiana jednostkowej podporności sekcji w trakcie cyklu pracy,
- q_s – jednostkowa podporność wstępna sekcji,

a, c – stałe zależne od charakterystyki stropu bezpośredniego i zasadniczego (grubości warstw, rodzaju skał oraz ich wytrzymałości), wyznaczane z monogramów [65].

Analityczno–empiryczny model współpracy sekcji z górotworem wykorzystano opracowując dialogowy program komputerowy DEPOWS (ang. Design of Powered Support Selection Model) dedykowany do doboru sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków panujących w wyrobisku [37]. Zawiera on cztery moduły:

- określania wymaganego obciążenia pionowego sekcji (podporności roboczej),
- wyboru najkorzystniejszego typu sekcji obudowy zmechanizowanej,
- wyznaczania minimalnej składowej poziomej oddziaływania na strop,
- wyznaczania maksymalnej dopuszczalnej wartości nacisku sekcji na spąg.

Zgodnie z [66] model matematyczny wykorzystany w programie komputerowym DEPOWS został opracowany na podstawie wyników pomiarów wykonywanych przed rokiem 1980, kiedy w układach hydraulicznych sekcji obudowy zmechanizowanej stosowano sterowanie ręczne, a podporność robocza sekcji „zmieniała się w przedziale od 280 do 800 ton, przy średniej podporności 500 ton” ([66] s. 216 – uwaga: zachowano oryginalne jednostki, podane w [66]). Z tego względu zalecono stosowanie programu DEPOWS tylko dla wyżej podanego zakresu podporności roboczej sekcji.

5.2. Metoda doboru obudowy wyrobiska ścianowego z wykorzystaniem teorii dopuszczalnego ugięcia stropu

Metoda doboru obudowy wyrobisk eksploatacyjnych, bazująca na teorii dopuszczalnego ugięcia stropu została opracowana w Głównym Instytucie Górnictwa, przez prof. dr hab. inż. Alfreda Bilińskiego [4, 5, 6, 8, 9]. Metoda ta, powszechnie stosowana w polskim górnictwie węgla kamiennego, jest w dalszym ciągu doskonała w GIG [68, 70, 74, 76, 79] i na bieżąco uzupełniana o wyniki pomiarów wykonywanych w wyrobiskach eksploatacyjnych.

Zagadnienie doboru obudowy wyrobisk eksploatacyjnych do warunków geologiczno-górnich rozpatrywane jest w omawianej metodzie w wielu aspektach. Aspekt wpływu cech geometrycznych i parametrów technicznych sekcji obudowy zmechanizowanej na jej interakcję z górotworem jest szczególnie widoczny przy analizie: przeciwdziałania zawałowi/obwałowi stropu wyrobiska oraz współpracy obudowy ze spągiem. Celem niniejszej monografii nie jest syntetyczne omówienie metody doboru obudowy wyrobisk, opracowanej

w Głównym Instytucie Górnictwa, lecz jedynie zwrócenie uwagi na sposób uwzględniania cech geometrycznych i parametrów technicznych sekcji w zależnościach stosowanych w tej metodzie.

5.2.1. Wpływ podporności sekcji obudowy zmechanizowanej na przeciwdziałanie zawałowi stropu wyrobiska ścianowego

W metodzie dopuszczalnego ugięcia stropu wyrobiska kryterium stanu utrzymania stropu wyrobiska ze względu na nie dopuszczenie do zawału ma postać warunku:

$$g = \frac{1}{\frac{z_{L1}}{z_g} + 0,3} \quad (5.3)$$

gdzie:

- g – wskaźnik nośności stropu,
- z_{L1} – nachylenie stropu, występujące na pierwszym metrze rozpiętości wyrobiska, wyrażane w mm osiadania stropu na 1m rozpiętości wyrobiska,
- z_g – graniczna wartość nachylenia stropu, utworzonego z danego rodzaju skał; w przypadku, gdy nachylenie stropu jest większe od z_g strop przekształca się w zbiorowisko luźnych bloków skalnych, $\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$.

Kryterialne wartości wskaźnika – g nośności stropu zestawiono w tabeli 5.1.

Kryterialne wartości wskaźnika – g nośności stropu

Tabela 5.1.

Przedział wartości wskaźnika – g	Warunki utrzymania stropu wyrobiska
$g < 0,7$	bardzo złe, duże zagrożenie zawałem
$0,7 \leq g < 0,8$	utrudnione, występowanie opadu stropu
$g \geq 0,8$	poprawne lub dobre

Graniczne nachylenie stropu – z_g wyznaczane jest z zależności [7]:

$$z_g = \frac{k_e}{\frac{0,05}{R_c} + 0,006} \quad (5.4)$$

gdzie:

k_e – współczynnik ściśliwości materiału w zrobach; w przypadku eksploatacji na zawał jego wartość zmienia się w przedziale od 0,8 do 1,0,

R_c – wytrzymałość stropu na ściskanie, MPa.

Cechy geometryczne i parametry techniczne sekcji obudowy zmechanizowanej nie wpływają zatem na wartość granicznego nachylenia stropu. Istotnie wpływają natomiast na wartość nachylenia – z_{L1} stropu na pierwszym metrze rozpiętości wyrobiska, licząc od czoła ściany. Według [74] wielkość tą wyznacza się z zależności (5.5):

$$z_{L1} = \frac{1}{0,012 \cdot \frac{P_z \cdot l_z}{M_Q} + 0,002} \quad (5.5)$$

gdzie:

P_z – średnia podporność obudowy wyrobiska, odniesiona do 1 m jego szerokości, MN/m,

l_z – ramię średniej podporności względem czoła ściany, m,

M_Q – moment obciążenia wyrobiska – Q względem czoła ściany, MNm/m.

Wartości: średniej podporności – P_z obudowy wyrobiska oraz obciążenia – Q wyrobiska, wyrażone w MN/m są odnoszone do pasa stropu o szerokości 1 m. Średnia wartość podporności obudowy jest wyznaczana dla najmniej korzystnego odcinka ściany, w którym usytuowane są trzy sekcje:

- sekcja, której stojaki mają podporność zbliżoną do podporności roboczej,
- sekcja przemieszczana w nowe położenie,
- sekcja dosunięta do czoła ściany, której stojaki mają podporność wstępną.

Średnią wartość podporności – P_z sekcji obudowy zmechanizowanej wyznacza się z zależności:

$$P_z = \frac{i \cdot n_k \cdot n_w \cdot P_r}{3 \cdot b} \cdot \left[\frac{(1-n_0) \cdot (d_{02} - d_{01})}{\frac{100 \cdot e^{-3,5 \cdot e^{-8 \cdot n_{cz}}}}{z_{sr}} + (1 + e^{-1,8 \cdot e^{-2 \cdot n_{cz}}})} + 2 \cdot n_m \cdot n_0 \right] \quad (5.6)$$

gdzie:

i – liczba stojaków,

P_r – podporność robocza pojedynczego stojaka, MN,

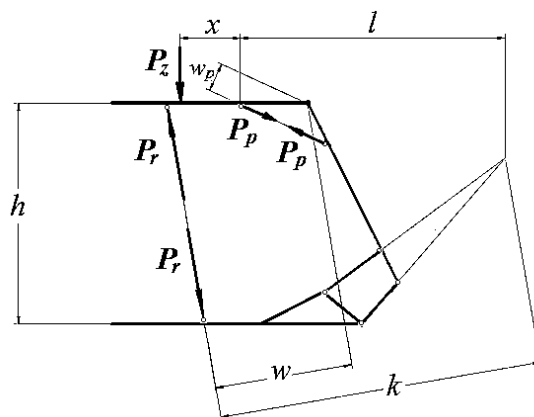
b – podziałka sekcji, m,

n_k – współczynnik redukcji podporności stojaka,

- n_w – współczynnik przenoszenia podporności obudowy na strop wyrobiska,
- n_o – stosunek podporności wstępnej do podporności roboczej stojaka,
- d_{01} – długość odcinka stropu pomiędzy czołem ściany a najbliższym leżącym gniazdem stojakowym, wyznaczona przed rozpoczęciem urabiania, m,
- d_{02} – długość odcinka stropu pomiędzy czołem ściany a najbliższym leżącym gniazdem stojakowym wyznaczona po zakończeniu urabiania, m,
- z_{sr} – średnia wartość zaciskania wyrobiska ścianowego na odcinku stropu o rozpiętości $(d_{02} - d_{01})$, mm,
- z_{L1} – nachylenie stropu, występujące na pierwszym od ociosu metrze rozpiętości wyrobiska, wyznaczane z zależności (5.3) lub (5.4), $\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$,
- n_{cz} – wskaźnik pracy sekcji obudowy zmechanizowanej, zależny od podporności roboczej stojaków, postaci konstrukcyjnej sekcji oraz sztywności styku sekcji z otoczeniem,
- n_m – współczynnik wpływu wytrzymałości spągu,
- R_s – wytrzymałość spągu na ściskanie, MPa.

Postać konstrukcyjna sekcji i jej cechy geometryczne mają bezpośredni wpływ na wartość współczynnika redukcyjnego – n_k podporności stojaka. Współczynnik ten wyznacza się jako stosunek podporności sekcji i podporności roboczej pojedynczego stojaka. W [31] zaproponowano korektę wzoru (5.6) polegającą na zastąpieniu iloczynu – $i \cdot n_k \cdot P_r$ wartością podporności sekcji.

Sposób wyznaczania podporności sekcji oraz współrzędnej określającej jej punkt przyłożenia do stropnicy dla różnych schematów kinematycznych sekcji przedstawiono w [31]. Korekta zaproponowana w [31] umożliwia uwzględnienie siły przenoszonej przez podporę stropnicy przy wyznaczaniu średniej wartości podporności – P_z sekcji obudowy zmechanizowanej. Zachowując jednak postać wzoru (5.6), podaną w [7] można, stosując analogiczny tok postępowania jak w [31], wyznaczyć wartość współczynnika – n_k redukcyjnego podporności stojaka w funkcji podporności stojaka, podporności podpory stropnicy i wysokości sekcji (rys. 5.10).



Rys. 5.10. Schemat wyznaczania współczynnika n_k dla jednoszeregowej sekcji obudowy podporowo – osłonowej [źródło: opracowanie własne]

Związek pomiędzy współczynnikiem redukcyjnym – n_k a cechami geometrycznymi sekcji oznaczonymi na rysunku 5.10 oraz podpornością stojaka – P_r i siłą w podporze stropnicy – P_p określa zależność (5.7):

$$n_k = \frac{i \cdot (k - w)}{l} + \frac{P_p}{P_r} \cdot \frac{w_p}{r} \quad (5.7)$$

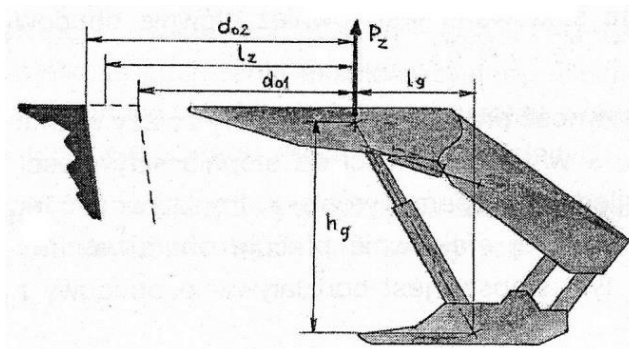
gdzie:

- i – liczba stojaków w sekcji,
- P_r – podporność robocza stojaka,
- P_p – siła w podporze stropnicy.

W niektórych publikacjach stosuje się uproszczony sposób wyznaczania współczynnika redukcyjnego – n_k uzależniając jego wartość wyłącznie od kąta pochylenia stojaka. Przykładowo, według [7] współczynnik redukcyjny – n_k określa zależność:

$$n_k = \frac{1}{\left[\left(\frac{l_g}{h_g} \right)^2 + 1 \right]^{0,5}} \quad (5.8)$$

Sposób wyznaczania parametrów l_g i h_g , występujących w zależności (5.8) przedstawiono na rysunku 5.11.



Rys. 5.11. Parametry niezbędne do wyznaczania współczynnika redukcyjnego – n_k oraz ramienia – l_z działania średniej podporności sekcji [7]

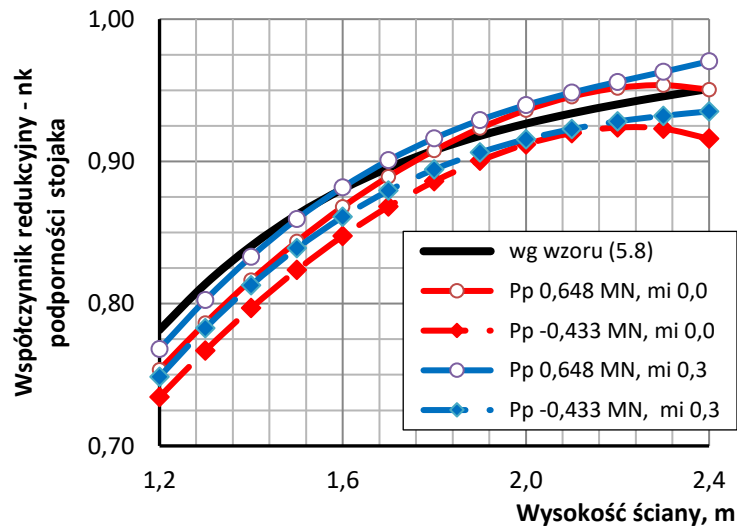
Zależności (5.7) i (5.8) wyznaczono zakładając, że osłona odzawałowa jest wolna od obciążenia. W przypadku bardziej złożonego schematu obciążenia sekcji (obciążenie osłony, sprzężenie cierne stropnicy i stropu) współczynnik redukcyjny – n_k można wyznaczyć analizując obciążenie statyczne całej sekcji, na przykład z wykorzystaniem programu komputerowego OStO v.4.0 [34].

Na rysunku 5.12 porównano przykładowo wykresy zmienności współczynnika redukcyjnego – n_k dla sekcji obudowy typu JZR 12/24-POz, wyznaczonego ze wzoru (5.8) z wartościami tego współczynnika, uzyskanymi za pomocą programu OStO v.4.0 przy różnych zwrotach siły – P_p w podporze stropnicy i wartościach współczynnika tarcia stropnicy o strop.

Cechy geometryczne sekcji wpływają pośrednio na wartość współczynnika – n_w przenoszenia podporności obudowy na strop wyrobiska. Współczynnik ten, w zależności od systemu kierowania stropem, wyznacza się [7]:

- dla ścian zawałowych z zależności:

$$n_w = 1 - 0,4 \cdot e^{-7 \cdot e^{-0,5 \cdot L_w}} \quad (5.9)$$



Rys. 5.12. Porównanie wykresów współczynnika redukcyjnego – n_k podporności stojaków sekcji obudowy typu JZR 12/24-POz
[źródło: opracowanie własne]

- dla ścian podsadzkowych z zależności:

$$n_w = 1 - 0,6 \cdot e^{-7 \cdot e^{-0,5 \cdot L_w}} \quad (5.10)$$

gdzie:

$$L_w = L_o + l_{sc} + l_0 + l_{cz} \quad (5.11)$$

L_o – rozpiętość stropu obudowana stropnicą, m,

l_{sc} – szerokość nie osłoniętej przyczołowej ścieżki stropu przed wykonaniem zabioru, (rys. 5.13), m

l_0 – szerokość zabioru, m,

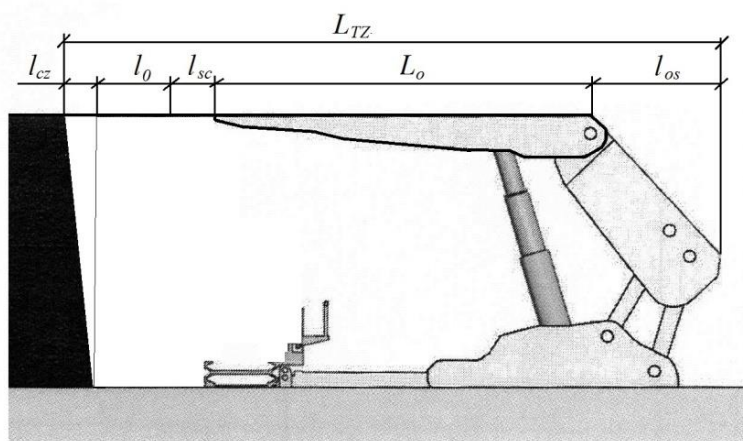
l_{cz} – otwarcie stropu wynikające z rzeczywistego nachylenia płaszczyzny czoła ściany, wyznaczone z zależności [7], m:

$$l_{cz} = \frac{h}{\frac{1,5 \cdot R_z}{q} + 5} \quad (5.12)$$

h – wysokość ściany, m,

R_z – wytrzymałość pokładu, MPa,

q – ciśnienie górotworu, MPa.



Rys. 5.13. Techniczna rozpiętość wyrobiska – L_{TZ} w ścianie zawałowej
[źródło: opracowanie własne]

Cechy geometryczne sekcji obudowy zmechanizowanej mają również wpływ na wartość wskaźnika – n_{cz} pracy sekcji obudowy zmechanizowanej wyznaczonego z zależności [7]:

$$n_{cz} = \frac{n_F \cdot i \cdot n_k \cdot P_r}{F \cdot R_s} \quad (5.13)$$

gdzie:

- P_r – podporność robocza stojaka, MN,
- n_k – współczynnik redukcyjny podporności stojaka,
- i – liczba stojaków,
- F – powierzchnia elementu obudowy, stykającego się z najsłabszym elementem otoczenia; w przypadku sekcji obudowy zmechanizowanej – łączna powierzchnia styku spągnic ze spągami, m^2 ,
- R_s – wytrzymałość spągu na ściskanie, MPa,
- n_F – współczynnik nierównomierności rozkładu nacisku, którego wartość zestawiono w tabeli 5.2

Z wieloletnich doświadczeń, obserwacji i pomiarów w wyrobisku wynika, że występowanie wstrząsów górotworu w polach eksploatacji ścianowej powoduje zwiększenie obciążenia obudowy wyrobiska skutkujące gwałtownym, chwilowym zwiększeniem podporności obudowy.

Wartości współczynnika – n_F nierównomierności rozkładu nacisku

Tabela 5.2.

F	Typ sekcji	n_F
$F \leq 1,5 \text{ m}^2$	Wszystkie typy sekcji	1,0
$F > 1,5 \text{ m}^2$	Sekcja osłonowa, Sekcja osłonowo-podporowa	1,5
	Sekcja podporowo-osłonowa	1,3
	Sekcja podporowa	1,0

Średnia podporność sekcji osiąga wtedy wartość chwilową – P_{zt} , określoną wzorem [7]:

$$P_{zt} = n_{zt} \cdot P_z \quad (5.14)$$

gdzie:

- P_{zt} – chwilowa podporność sekcji, MN,
- P_z – średnia podporność obudowy wyrobiska, MN,
- n_{zt} – współczynnik zmiany podporności sekcji, wyznaczany z zależności:

$$n_{zt} = \frac{1}{\frac{0,05}{h - h_{min}} + 0,835} \quad (5.15)$$

h – wysokość ściany, m

h_{min} – minimalna wysokość sekcji, m.

Wartość momentu – M_Q obciążenia pasa stropu o szerokości jednego metra, wyrażona w $\text{MNm} \cdot \text{m}^{-1}$, jest uzależniona od czynników geologiczno-górnich i technicznych charakteryzujących wyrobisko eksploatacyjne. Według [74] wyznaczana jest ona z zależności:

$$M_Q = 0,7 \cdot L_w \cdot Q_z \quad (5.16)$$

gdzie:

- L_w – rozpiętość wyrobiska, m,
- Q_z – obciążenie wyrobiska ścianowego przypadające na jeden metr bieżący jego długości, wyznaczone w MN; jest ono obliczone ze wzoru:

$$Q_z = n_A \cdot n_Q \cdot n_u \cdot a_p \cdot c_w \cdot h_s \cdot \frac{L_w^{1,4}}{0,13 \cdot R_c^{0,5} + 0,7} \quad (5.17)$$

gdzie:

- n_A – współczynnik zasięgu górotworu odprężonego w stropie wyrobiska ścianowego,
- n_Q – współczynnik nasilenia obciążenia,
- n_u – współczynnik nachylenia wyrobiska,
- a_p – współczynnik ciśnienia okresowego,
- c_w – ciężar objętościowy skał tworzących warstwę odprężoną nad wyrobiskiem, $\text{MN} \cdot \text{m}^{-3}$,
- h_s – zredukowana wysokość wyrobiska, m
- R_c – rzeczywista wytrzymałość stropu na ściskanie, MPa.

Wartości wyżej wymienionych wielkości uzależnione są od czynników geologiczno-górnictwowych i technicznych charakteryzujących wyrobisko eksploatacyjne. Sposób ich wyznaczania przedstawiono szczegółowo w pracach [4, 5, 6, 7, 8, 9, 80].

Występowanie wstrząsów górotworu skutkuje zwiększeniem obciążenia wyrobiska. Chwilową wartość momentu obciążenia wyrobiska prowadzonego z zawałem stropu określa wzór [7]:

$$M_{Qt} = n_{tz} \cdot M_Q \quad (5.18)$$

gdzie:

- M_Q – moment obciążenia wyrobiska względem czoła ściany, MNm/m ,
- n_{tz} – współczynnik zwiększenia obciążenia wskutek wstrząsu górotworu przy eksploatacji na zawał,

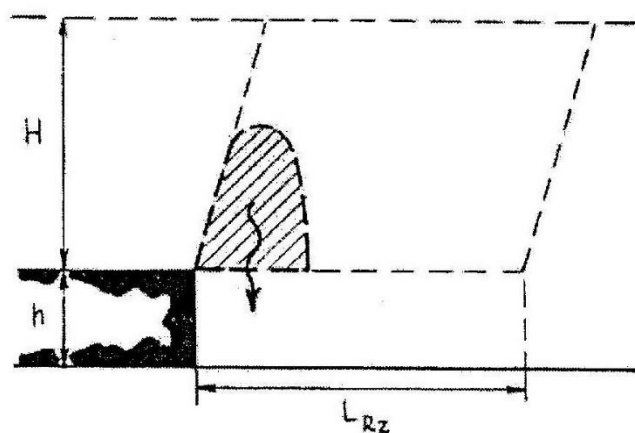
$$n_{tz} = 1 + \frac{n_{zr}}{0,04 \cdot \left(\frac{H_t}{E_t}\right)^{0,7} + 0,04 \cdot H_t + 0,5} \quad (5.19)$$

- n_{zr} – współczynnik zależny od eksploatacji prowadzonej w bezpośrednim sąsiedztwie pokładu,
- H_t – odległość pionowa środka warstwy będącej prawdopodobnym źródłem wstrząsu od pułapu wyrobiska ścianowego, m,
- E_t – energia wstrząsu górotworu, MJ.

Zależność (5.19) wykorzystywana jest również w metodyce oceny upodatkowania sekcji obudowy zmechanizowanej stosowanej w Głównym Instytucie Górnictwa [89].

5.2.2. Wpływ cech konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej na przeciwdziałanie obwałom wyrobiska ścianowego

Obwał skał stropowych należy obecnie do dwóch najczęściej występujących form utraty stateczności skał stropowych [74]. W pracy [49] (s. 197) „obwał” zdefiniowano jako „opad skał stropowych do wyrobiska, nie powodujący jednak jego niedrożności” w odróżnieniu od „opadu stropowego” rozumianego jako „drobne fragmenty i kawałki skały opadające ze stropu”. A Biliński definiuje obwał ściany jako „oberwanie się skał będących częścią stropowej bryły górotworu” [7]. Obwał występuje na tych fragmentach stropu, które nie są podparte obudową wyrobiska. Przykładowy schemat powstawania obwału ściany przedstawiono na rysunku 5.14 [7].



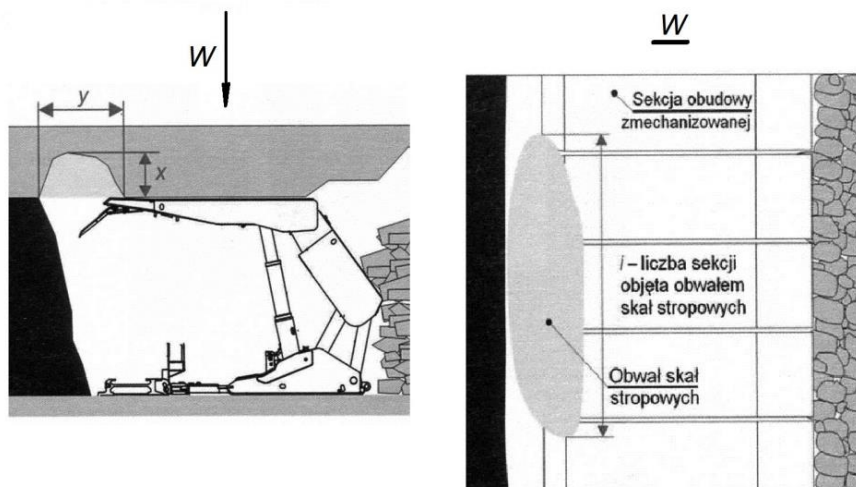
Rys. 5.14. Schemat tworzenia się obwału w ścianach zawałowych ze stropami o wytrzymałości $R_c > 40$ MPa [7]

Brak ścisłej definicji opadu i obwału stropu sprawił, że w Głównym Instytucie Górnictwa podjęto prace nad sporządzeniem klasyfikacji obwałów występujących w wyrobisku ścianowym [74]. Korzystając z wyników obszernej ankiety, przeprowadzonej przede wszystkim w gronie osób dozoru średniego i wyższego, zatrudnionych w oddziałach wydobywczych kopalń węgla kamiennego opracowano dwie klasyfikacje obwałów.

Kryterium podziału obwałów stropu w pierwszej klasyfikacji jest zasięg obwału, charakteryzowany przez:

- wysokość obwału – x
- szerokość obwału (otwarcie stropu) – y
- liczbę sekcji obudowy objętych obwałem – i .

Znaczenie wyżej wymienionych parametrów objaśniono na rysunku 5.15.



Rys. 5.15. Parametry geometryczne obwałowań w ścianach zawałowych określone w badaniach ankietowych [73]

Wyniki ankiety umożliwiły określenie przedziałów zmienności parametrów geometrycznych obwałowań, przypisanie im odpowiedniej wagi punktowej oraz opracowanie klasyfikacji obwałowań, przedstawionej w tabeli 5.3 [73].

Klasyfikację punktową parametrów geometrycznych obwałowań wraz z ich klasyfikacją punktową przedstawiono w tabeli 5.4.

Klasyfikacja obwałowań skal stropowych ze względu na jego zasięg [73]

Tabela 5.3.

Obwał	Liczba punktów
mały	do 6
średni	7 - 9
duży	10 -12
bardzo duży	13 -18

**Zakres parametrów geometrycznych obwału
wraz z ich klasyfikacją punktową [73]**

Tabela 5.4.

Parametr obwału	Zakres zmian parametru	Liczba punktów
Wysokość – x	$x \leq 1,0 \text{ m}$	1
	$1,0 \text{ m} < x \leq 3,0 \text{ m}$	3
	$x > 3,0 \text{ m}$	6
Szerokość – y	$y \leq 1,5 \text{ m}$	1
	$1,5 \text{ m} < y \leq 2,0 \text{ m}$	3
	$y > 2,0 \text{ m}$	6
Liczba sekcji objętych obwałem – i	$i \leq 3$	1
	$3 < i \leq 5$	3
	$i > 5$	6

W drugiej zaproponowanej klasyfikacji obwałów jako kryterium przyjęto czas usuwania skutków obwału. Wyróżniono:

- obwały małe – gdy czas usuwania skutków jest nie dłuższy niż 3 zmiany,
- obwały średnie – gdy czas usuwania skutków mieści się w przedziale od 3 do 6 zmian,
- obwały duże – gdy czas usuwania skutków jest dłuższy niż 6 zmian.

Obszerne omówienie wyników ankiety przedstawiono w [73, 74]. W odniesieniu do czynników wpływających na powstawanie obwałów wyróżniono czynniki geologiczne, górnicze i techniczne, przypisując im odpowiednie współczynniki wagowe. Spośród czynników technicznych respondenci ankiety jako najistotniejsze uznali [72]:

- podporność wstępną obudowy (waga 7,4 pkt.),
- podporność roboczą obudowy (waga 6,8 pkt.),
- szerokość niezabudowanej przyczółkowej ścieżki stropu (waga 6,67 pkt.),
- głębokość zabioru (waga 3,94 pkt.).

Spośród wszystkich czynników wpływających na powstawanie obwałów wyróżnionych w ankiecie, najistotniejszymi czynnikami, zdaniem respondentów [74], są czynniki geologiczne (występowanie zaburzeń geologicznych – waga 8,6 pkt.)

Według [7] warunek zabezpieczenia wyrobiska ścianowego przed wystąpieniem obwału przyjmuje postać:

$$L > l_{wo} \quad (5.20)$$

gdzie:

L – rozpiętość nośna warstw skalnych sąsiadujących z pułapem ściany,

l_{wo} – największa rozpiętość otwartego stropu przy czole ściany,

$$l_{wo} = l_{sc} + l_o + l_{cz} \quad (5.21)$$

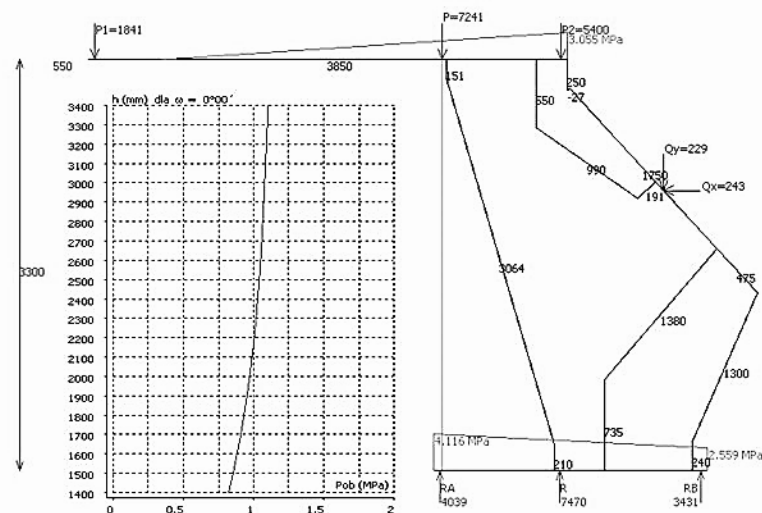
l_{sc} – szerokość nie osłoniętej przyczółkowej ścieżki stropu przed wykonaniem zabioru,

l_o – szerokość zabioru,

l_{cz} – otwarcie stropu wynikające z rzeczywistego nachylenia płaszczyzny ściany (rys. 5.13).

Cechy geometryczne sekcji obudowy zmechanizowanej mają wpływ jedynie na rozpiętość – l_w otwartego stropu przy czole ściany. Rozpiętość nośna warstw skalnych sąsiadujących z pułapem ściany zależy bowiem od warunków technicznych, takich jak: wysokość ściany, sposób kierowania stropem oraz warunków naturalnych, takich jak: wytrzymałość skał stropowych na ściskanie, grubość odprężonej warstwy skalnej i jej rozsłojenia oraz sztywności zamocowania odprężonej warstwy skalnej w górotworze [7].

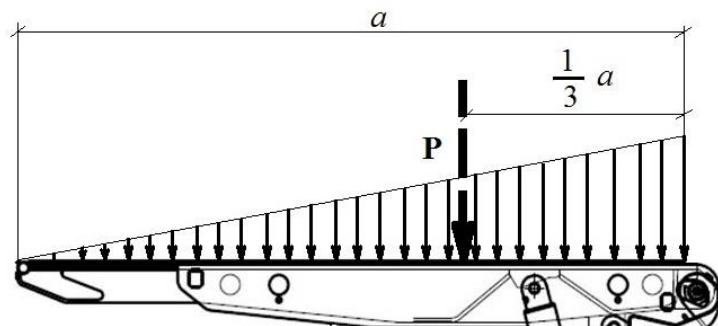
Analizując możliwość wystąpienia obwału ściany należy, zgodnie z [69], sprawdzić również czy niekorzystna postać konstrukcyjna sekcji nie powoduje braku tzw. "aktywnego podparcia stropu" [68] na całej długości stropnicy, co skutkuje zwiększeniem rozpiętości niepodpartego stropu przy czole ściany w porównaniu z wartością l_{wo} , wyznaczoną z zależności (5.21). Aktywne podparcie stropu występuje na tym odcinku stropnicy na, którym obciążenie górotworu, rozłożone liniowo, jest utrzymywane w równowadze przez sekcję obudowy zmechanizowanej (rys. 5.16).



Rys. 5.16. Przypadek aktywnego podparcia stropu występującego na części powierzchni stropnicy [68]

Liniowo zmienny nacisk górotworu na stropnicę będzie rozłożony na całej powierzchni stropnicy jeżeli odległość prostej działania wypadkowej siły – P oddziaływania stropu na stropnicę od końca stropnicy leżącego bliżej zawалу, będzie nie mniejsza niż $1/3$ całkowitej długości stropnicy (rys. 5.17).

Ponieważ odległość prostej działania wypadkowej nacisku stropu na stropnicę od gniazda stojakowego stropnicy jest niewielka, to przypadek obciążenia stropnicy przedstawiony na rys. 5.17 w przybliżeniu odpowiada warunkowi: "gniazdo stojaka powinno dzielić długość stropnicy w proporcji 2:1", formułowanemu przykładowo w pracy [29].



Rys. 5.17. Skrajne położenie prostej działania wypadkowej siły nacisku stropu na stropnicę przy którym na całej powierzchni stropnicy występuje aktywne podparcie stropu [źródło: opracowanie własne]

Parametrem charakteryzującym położenie gniazda stojakowego w stropnicy jest, zdefiniowany w [24] współczynnik – c_b – wyważenia stropnicy (ang.: canopy ratio or canopy balance [24]), wyznaczany z zależności (5.22):

$$c_b = \frac{L_{cs}}{L_{sz}} \quad (5.22)$$

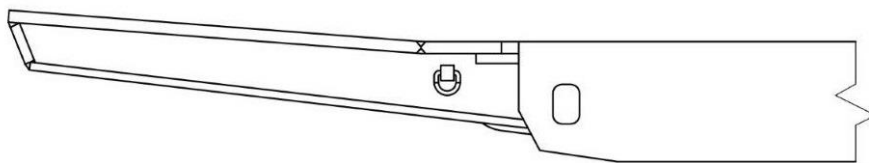
gdzie:

- c_b – współczynnik wyważenia stropnicy,
- L_{cs} – odległość pomiędzy przednią (przyczolową) krawędzią stropnicy a gniazdem stojaka,
- L_{sz} – odległość pomiędzy gniazdem stojaka a tylną (pryzawalową) krawędzią stropnicy.

Wartość współczynnika c_b ma istotny wpływ na wartość siły oddziaływania przedniej części stropnicy na strop [24]. Jakkolwiek przyjmuje się ([29] str.41), że w przypadku, gdy $c_b > 2,0$ "najdalej wysunięta część stropnicy nie bierze udziału w kierowaniu stropem", to w współcześnie projektowanych stropnicach dopuszcza się (np.: [2]) stosowanie położenia gniazd stojakowych charakteryzowanego przez $c_b \leq 2,4$.

Przyjęcie założenia liniowego rozkładu nacisku stropu na stropnicę w analizie aktywnego podparcia stropu [69] jest równoważne z traktowaniem, zarówno stropnicy, jak również stropu bezpośredniego jako ciał idealnie sztywnych, których powierzchnią styku jest płaszczyzna.

W związku z powyższym, jeżeli płyta górna stropnicy jest ukształtowana w sposób preferujący styk przedniej, przyczolowej części stropnicy ze stropem (rys. 5.18), to fakt ten należy uwzględnić w analizie rozkładu nacisku stropu na stropnicę w aspekcie "aktywnego podparcia stropu".



Rys. 5.18. Przykład specjalnie ukształtowanej przedniej części stropnicy
[źródło: opracowanie własne]

Sprężyste odkształcenie przedniej części stropnicy powoduje, że prosta działania wypadkowej siły nacisku stropnicy na strop przemieszcza się w stronę czoła ściany, co w aspekcie przeciwdziałania obwałowi stropu jest korzystne.

W trakcie użytkowania sekcji przednia część stropnicy ulegała jednak trwałym odkształceniom i sprężyste oddziaływanie na strop było coraz mniejsze. W przypadku aktualnie projektowanych sekcji obudowy zmechanizowanej stropnice o postaci geometrycznej przedstawionej na rysunku 5.18 nie są stosowane.

5.2.3. Wpływ cech konstrukcyjnych i parametrów technicznych sekcji na przeciwdziałanie niszczeniu skał stropu

Warunki współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem mogą ulec pogorszeniu również w przypadku, gdy nacisk jednostkowy elementu sekcji na skały otaczające będzie większy od wytrzymałości skały na ściskanie, powodując jej zniszczenie. W takiej sytuacji sekcja nie może rozwinąć podporności wynikającej z podporności roboczej stojaków. Stan taki może spowodować pogorszenie warunków utrzymania stropu wyrobiska. Oceniając poprawność doboru sekcji ze względu na nie dopuszczanie do zniszczenia stropu należałoby w zależności (5.13) zamiast wytrzymałości – R_s spągu na ściskanie podstawić wytrzymałość – R_c stropu na ściskanie, wyznaczając wartość wskaźnika – n_{czt} niszczenia skał stropowych, korzystając z zależności (5.23):

$$n_{czt} = \frac{n_F \cdot i \cdot n_k \cdot P_r}{F \cdot R_c} \quad (5.23)$$

gdzie:

- P_r – podporność robocza stojaka, MN,
- n_k – współczynnik redukcji podporności stojaka,
- i – liczba stojaków,
- F – powierzchnia stropnicy, stykająca się ze stropem, m²,
- R_c – wytrzymałość stropu na ściskanie, MPa,
- n_F – współczynnik nierównomierności rozkładu nacisku, którego wartość zestawiono w tabeli 5.2.

Wskaźniki – n_{cz} i n_{czt} można interpretować jako iloraz nacisku jednostkowego, rozłożonego na powierzchni styku elementu sekcji ze skałami otaczającymi i wytrzymałości skały na jednokierunkowe ściskanie. Z zależności (5.13) i (5.23) wynika, że nierównomierność rozkładu nacisku jednostkowego uwzględnia się mnożąc wartość nacisku rozłożonego równomiernie przez współczynnik – n_F nierównomierności rozkładu nacisku zależny głównie od typu sekcji obudowy zmechanizowanej (tabela 5.2).

Kryterium nie dopuszczenia do zniszczenia skał stykających się z elementami sekcji będzie spełnione, jeżeli:

$$\max(n_{cz}, n_{czt}) < 1,0 \quad (5.24)$$

Spełnienie tego kryterium jest uzależnione od cech geometrycznych i parametrów technicznych sekcji. Tym niemniej warunek (5.24), podobnie jak warunki: (5.3) – przeciwdziałania zawałowi wyrobiska i (5.20) – przeciwdziałania obwałowi wyrobiska, mają postać warunków sprawdzających a nie warunków projektowych. Korzystając z zależności (5.3), (5.20) i (5.24) można bowiem jedynie sprawdzić czy dana sekcja obudowy zmechanizowanej została dobrze dobrana do określonych warunków naturalnych i technicznych panujących w wyrobisku. Ze względu na uwikłaną postać zależności określających wielkości fizyczne występujące w warunkach: (5.3), (5.20) i (5.24) nie jest możliwe rozwiązanie zadania odwrotnego, to znaczy wyznaczenie wartości cechy geometrycznej lub parametru technicznego sekcji, spełniającej kryteria poprawnego doboru sekcji do danych warunków geologiczno-górnictwowych.

5.3. Zastosowanie krzywych reakcji górotworu do analizy interakcji sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem

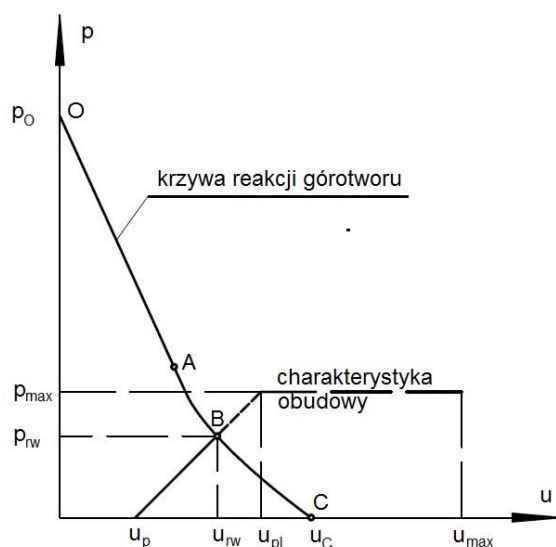
Względy ekonomiczne wymuszające konieczność koncentracji produkcji i osiągnięcia wydobywania o wielkości do kilkudziesięciu tysięcy ton urobku na dobę z jednego przodka ścianowego [86] skutkują rosnącymi wymaganiami dotyczącymi niezawodności i efektywności wyposażenia technicznego ściany. Rośnie w związku z tym cena wyposażenia technicznego a w konsekwencji ryzyko poniesienia dużych strat przez zakład górniczy w przypadku zatrzymania ściany, bądź ograniczenia wydobywania. Ścianowa obudowa zmechanizowana ze względu na liczbę sekcji, według danych amerykańskich [66, 85], stanowi, w zależności od długości ściany, od 60 – 80% całkowitych kosztów kompleksu ścianowego. Prawidłowy dobór sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków naturalnych i technicznych danej ściany jest więc bardzo istotny, nie tylko z uwagi na koszty, ale również na konieczność bezawaryjnej pracy kompleksu ścianowego.

Parametry wysoko wydajnych wyrobisk ścianowych, takie jak np.: znaczny postęp dobowy ściany, jej długość czy podporności sekcji sprawiają, że dotychczas stosowane empiryczne metody doboru obudowy wyrobiska są niewystarczające. Z tych względów prowadzone są prace nad zastosowaniem

krzywych reakcji górotworu – inaczej krzywych GRC (ang.: **G**round **R**esponse **C**urves) – do analizy współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej górotworem [11, 31, 60, 75, 86].

Nazwą „*krzywa reakcji górotworu*” określa się wykres zależności pomiędzy obciążeniem obudowy wyrobiska a jego konwergencją. Krzywe reakcji górotworu umożliwiają określenie podporności obudowy, zapewniającej utrzymanie konwergencji wyrobiska na określonym poziomie.

Krzywą reakcji górotworu można uzyskać analitycznie (jedynie w przypadku stosunkowo prostych modeli konstytutywnych górotworu), na podstawie pomiarów i obserwacji dołowych (co z kolei jest bardzo trudne, zwłaszcza w przypadku górotworu naruszonego wcześniejszą eksploatacją górniczą), bądź metodami numerycznymi. Zazwyczaj metoda krzywych reakcji górotworu (są również stosowane nazwy: *convergence – confinement* lub *confinement – convergence method*) stosowana jest do projektowania obudowy wyrobisk tunelowych [15], sztolni hydroelektrowni czy wyrobisk korytarzowych. Koncepcję doboru obudowy tunelu z wykorzystaniem krzywej reakcji górotworu [65] przedstawiono na rysunku 5.19.



Rys. 5.19. Koncepcja doboru obudowy kołowej tunelu [65]

Punkt O na wykresie krzywej reakcji górotworu przedstawionej przykładowo na rysunku 5.19 odpowiada pierwotnemu ciśnieniu górotworu, odcinek OA – liniowo sprężystym odkształceniom górotworu, natomiast odcinek AC

odkształceniom trwałym górotworu. Krzywa GRC przedstawiona na rysunku 5.19 opisuje stabilne niesprężyste zachowanie masywu skalnego.

Po osiągnięciu konwergencji wyrobiska, wynoszącej u_c górotwór w otoczeniu wyrobiska jest samonośny. Zastosowanie obudowy o charakterystyce przedstawionej na rysunku 5.19, począwszy od czasu w którym konwergencja wyrobiska wynosiła u_p skutkuje osiągnięciem stanu równowagi przy konwergencji, wynoszącej u_{rw} (punkt B na wykresie). Jeżeli wartość $-u_{rw}$ konwergencji wyrobiska jest technicznie akceptowalna, to obudowa o charakterystyce przedstawionej na rysunku 5.19 została poprawnie dobrana.

Koncepcja zastosowania krzywych GRC do oceny doboru ścianowej obudowy zmechanizowanej do warunków w australijskich przodkach ścianowych została przedstawiona w [59]. Na rysunku 5.20 przedstawiono, wyróżnioną szarym kolorem, rodzinę krzywych reakcji górotworu charakteryzujących zachowanie się masywu skalnego w otoczeniu wyrobiska ścianowego w zmiennych warunkach wynikających, między innymi z cykliczności pracy kompleksu ścianowego. Z przebiegu krzywych GRC, przedstawionych na rysunku 5.20 wynika, że zwiększaniu konwergencji wyrobiska towarzyszy zmniejszanie wartości podporności sekcji, niezbędnej dla zachowania równowagi stropowej bryły górotworu. Konwergencja stropu skutkuje powstawaniem spękań w stropie i przekształceniem masywu skalnego w blokową strukturę utrzymującą się w równowadze dzięki zablokowaniu względnych przemieszczeń bloków skalnych. dalsze zwiększanie konwergencji stropu, do poziomu odpowiadającego otoczeniu punktu C na rysunku 5.20 powoduje luzowanie pojedynczych odłamków skał a następnie zawał stropu [24].

Zadaniem obudowy wyrobiska jest dążenie do powstrzymania przemieszczeń spękaną strukturę powstałej w stropowej bryle górotworu i nie dopuszczenie do takiej konwergencji stropu, przy której strop straci resztkową wytrzymałość. Prawidłowe zastosowanie sekcji obudowy zmechanizowanej sprawia, że po jej rozparciu z podpornością wstępną konwergencja stropu zwiększa się do wartości odpowiadającej punktowi przecięcia charakterystyki sekcji z krzywą reakcji górotworu.

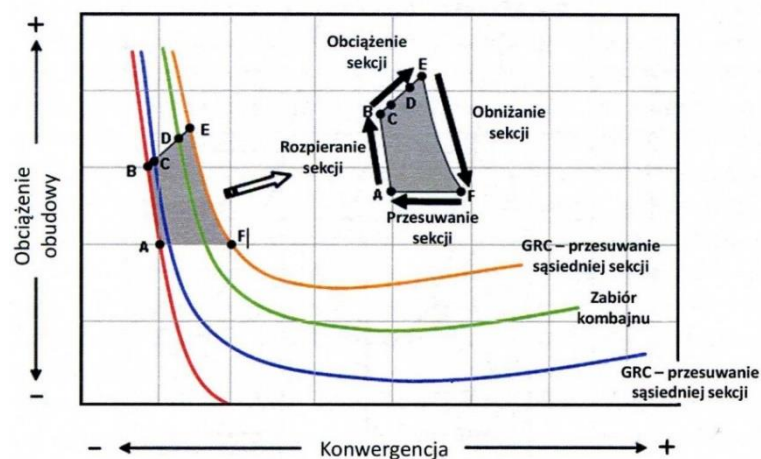
Jeżeli sekcja obudowy zmechanizowanej zostanie rozparta zbyt późno (przy większej początkowej konwergencji stropu [24]), czemu odpowiada położenie punktu B na rysunku 5.20, lub osiąga niewystarczającą podporność, bądź jej charakterystyka jest podatna (linia przerywana na rys. 5.20), to nie może powstrzymać dalszego zaciskania stropu.

O poprawności doboru podporności wstępnej sekcji świadczy w pewnym sensie przebieg zmiany ciśnienia w stojakach w trakcie cyklu pracy sekcji, poczynając od jej rozparcia w nowym położeniu, na zrabowaniu stojaków poprzedzającym przemieszczanie sekcji kończąc. Według [66] można wyróżnić trzy typy przebiegu czasowego ciśnienia w stojakach sekcji w trakcie cyklu pracy. Charakteryzują się one bądź istotnym zwiększeniem ciśnienia, ponad ciśnienie wstępne, bądź stałą wartością ciśnienia lub jego niewielkim zwiększeniem ponad ciśnienie wstępne, bądź też ciągłym zmniejszaniem się wartości ciśnienia w stojakach.

Podstawową trudność w analizie współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem stanowi określenie przebiegu krzywej reakcji górotworu. Dopiero rozwój metod numerycznych stworzył możliwości modelowania górotworu i samej eksploatacji.

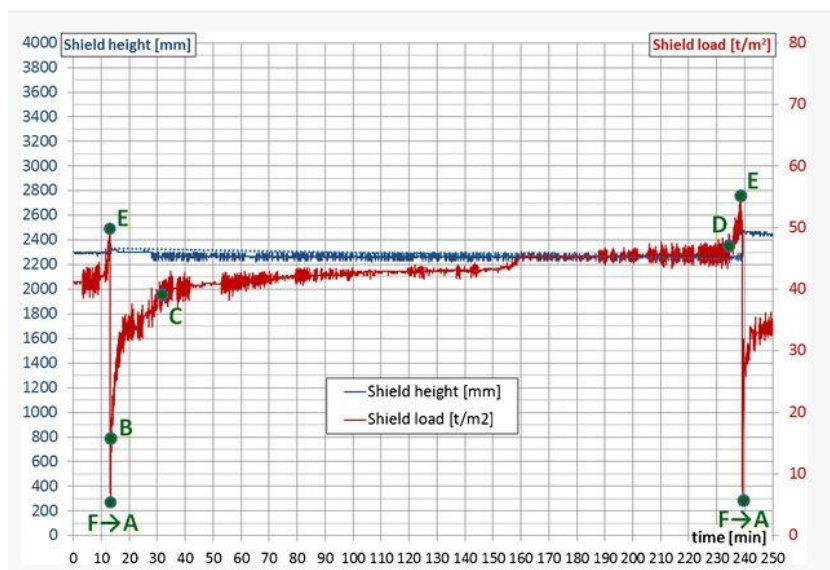
Przykład numerycznego wyznaczania krzywych reakcji górotworu za pomocą programu FLAC, odpowiadających poszczególnym fragmentom cyklu pracy sekcji przedstawiono w [3] (rys. 5.21).

Przykład zastosowania krzywych reakcji górotworu do analizy współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem, w dwóch polskich wyrobiskach ścianowych przedstawiono w [75]. W pracy opisano warunki geologiczno – górnicze w badanych wyrobiskach oraz pomiary ciśnienia w stojakach sekcji obudowy zmechanizowanej oraz zaciskania sekcji wyznaczonego za pomocą inklinometrów. Jakkolwiek wyniki ciągłego pomiaru ciśnienia w stojakach można znaleźć w literaturze, to ciągłe pomiary wysokości sekcji za pomocą inklinometrów opisywane są bardzo rzadko.



Rys. 5.21. Przebieg cyklu pracy sekcji obudowy zmechanizowanej w świetle krzywych reakcji górotworu [74]

Na rysunku 5.22, zaczerpniętym z [75], przedstawiono przykładowy przebieg zmiany jednostkowej podporności sekcji oraz wysokości sekcji w trakcie cyklu pracy. Na wykresie zachowano oryginalne jednostki wielkości fizycznych używane w pracy [75], nie przeliczając ich na jednostki z układu SI, gdyż wprowadzenie zamienionych jednostek mogłoby niekorzystnie wpłynąć na czytelność wykresu.

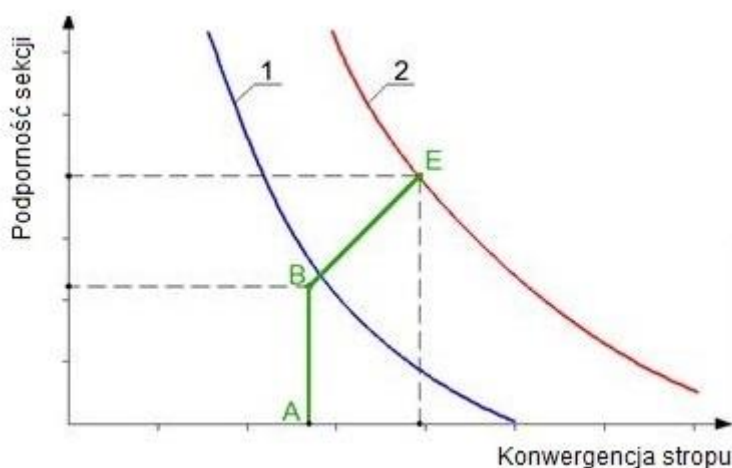


Rys. 5.22. Przykładowy wykres zmiany wysokości sekcji i jej jednostkowej podporności w trakcie cyklu pracy [75]

Na rysunku 5.22 symbolami A – F oznaczono następujące fazy cyklu pracy sekcji:

- A – B rozpieranie sekcji (podporność rośnie).
- B – E faza cyklu pracy sekcji obejmująca zmiany ciśnienia spowodowane: urabianiem kombajnu w rejonie sekcji (pkt. C), manewrowaniem sąsiednimi sekcjami (pkt. D).
- E – F rabowanie sekcji.
- F → A przemieszczenie w nowe położenie.

Krzywe reakcji górotworu wykorzystane w [75] wyznaczono stosując oprogramowanie Phase v. 70 opracowane przez firmę RocScience. Jest to oprogramowanie wykorzystujące metodę elementów skończonych dedykowane do modelowania masywu skalnego w postaci tarczy o jednostkowej grubości pozostającej w płaskim stanie odkształcenia. Wyznaczając krzywe GRC zastosowano w modelu kryterium wytrzymałościowe Coulomba – Mohra. Uzyskane krzywe reakcji górotworu charakteryzujące stan górotworu przed i po wykonaniu skrawu przedstawiono poglądowo na rysunku 5.23.



Rys. 5.23. Uśredniona charakterystyka sekcji obudowy zmechanizowanej wraz z krzywymi reakcji górotworu w ścianie B [75]

- 1– krzywa GRC przed wykonaniem skrawu, 2 – krzywa GRC po wykonaniu skrawu,
- A– początek rozpierania sekcji, B– podporność wstępna, E – podporność tuż przed zrabowaniem sekcji

Zastosowanie krzywych reakcji górotworu do analizy współpracy sekcji obudowy z górotworem wymaga określenia przebiegu krzywych GRC dla warunków występujących w wyrobisku. Wyznaczenie tych krzywych metodami

numerycznymi wiąże się z koniecznością precyzyjnego określenia stałych materiałowych niezbędnych do budowy modelu.

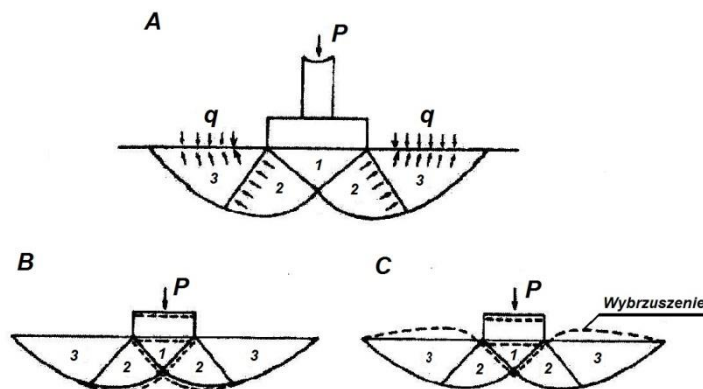
Opracowanych w ten sposób krzywych reakcji górotworu nie będzie można uogólnić. Tym niemniej dalsze prowadzenie badań nad metodą krzywych reakcji górotworu jest jak najbardziej uzasadnione w świetle konieczności precyzyjnego doboru sekcji obudowy zmechanizowanej do warunków panujących w wysoko wydajnych przodkach ścianowych.

5.4. Interakcja obudowy zmechanizowanej ze spągami

Czynnikiem równie istotnym, jak poprawna współpraca sekcji obudowy zmechanizowanej ze stropem, jest jej oddziaływanie na spąg wyrobiska. Reakcja spągu, działająca na spągnice sekcji umożliwia bowiem oddziaływanie stropnicy na strop siłą wynikającą z podporności stojaków. Maksymalna wartość reakcji spągu zależy od rozkładu nacisku spągnicy na spąg oraz od nośności spągu. Pod pojęciem nośności spągu rozumie się „naprężenie krytyczne, przy którym rozpoczynają się znaczne deformacje poza sprężyste” ([53] s.147). Analogiczną definicję nośności spągu, uszczegółowioną do zagadnienia współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej ze spągami podał S. Prusek w [74] (s.146): „nośność spągu jest to pewna wartość naprężenia, wyrażająca zdolność skał spągowych do przenoszenia nacisków wywieranych przez spągnicę sekcji, po przekroczeniu której następuje zagłębianie się spągnicy w spąg”.

W pracach badawczych nad nośnością spągu wyrobisk górniczych początkowo wykorzystywano podejście charakterystyczne dla mechaniki gruntów. Mechanizm interakcji płytowego próbnika z podłożem przedstawiono na rysunku 5.24.

Siła P działająca na próbnik wywołuje nacisk na klin (1), wymuszając względne przemieszczanie podłoża w strefach (2) i (3). Przeciwdziałają tym przemieszczeniom: naprężenie styczne na płaszczyznach poślizgu stref (2) i (3) oraz ciężar skał znajdujących się w tych strefach. Obciążenie P nie powodujące przekroczenia nośności spągu przedstawiono na rysunku 5.24 A. Zwiększenie obciążenia próbnika może spowodować uruchomienie dwóch typów mechanizmu uszkodzenia spągu. Na rysunku 5.24 B przedstawiono przypadek wciśnięcia się próbnika w podłoże, powodującego pionowe przemieszczanie klina (1) oraz skał w strefie (2). Uszkodzenie spągu, przedstawione na rysunku 5.24 C polega na wybrzuszeniu skał w strefie (3) spowodowanym przemieszczeniem klina (1) i skał w strefie (2).



Rys. 5.24. Mechanizm oceny nośności podłoża za pomocą płytowego próbnika [66]

A – Obciążenie nie powodujące przekroczenia nośności spągu,

B, C – Uszkodzenie spągu po przekroczeniu nośności spągu

Jedną z powszechnie stosowanych zależności na nośność podłoża, jest wzór opracowany przez Terzagiego [66], przyjmujący postać:

- dla próbnika kwadratowego

$$\sigma_b = 1,3 \cdot C \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_r \quad (5.25)$$

- dla próbnika prostokątnego

$$\sigma_b = \left(1 + 0,3 \cdot \frac{B}{L}\right) \cdot C \cdot N_c + q \cdot N_q + \left(1 - 0,2 \cdot \frac{B}{L}\right) \cdot \frac{\gamma \cdot B}{2} \cdot N_r \quad (5.26)$$

gdzie

- σ_b – nośność spągu, kPa;
- C – kohezja skał spągowych, kPa;
- γ – ciężar właściwy skał spągowych, $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$;
- B – szerokość próbnika, m;
- L – długość próbnika, m;
- q – równomiernie rozłożony nacisk jednostkowy próbnika, kPa;
- N_c, N_q, N_r – współczynniki nośności, zależne od kąta – φ tarcia wewnętrznego podłoża.

Wartości współczynników nośności podłoża zestawiono w tabeli 5.5 [66]

**Zestawienie wartości współczynników N_c , N_q i N_r – nośności podłoża
według φ – kąta tarcia wewnętrznego podłoża [66]**

Tabela 5.5.

φ	N_c	N_q	N_r
0	5,7	1,0	0,00
5	7,0	1,6	0,14
10	9,5	2,7	0,70
15	13,0	4,5	2,00
20	17,0	7,5	4,80
25	24,0	13,0	9,80
30	37,0	23,0	20,00
35	58,0	42,0	43,00
40	98,0	77,0	98,00

Badania omówione szeroko w [66] wykazały, że wpływ szerokości próbnika na nośność spągu zależy istotnie od właściwości sprężysto – plastycznych skały. Korzystając z wyników zrealizowanych przez różnych badaczy sformułowano zależność (5.27) [66]:

$$P_{max} = K \cdot B^n \quad (5.27)$$

gdzie:

P_{max} – obciążenie próbnika powodujące przekroczenie nośności podłoża, lbf;

B – szerokość próbnika, ";

K, n – Stałe zależne od rodzaju podłoża.

Ze względu na empiryczny charakter wzoru 5.27 zachowano oryginalne jednostki miar (funty i cale) stosowane w [66]. Wartości stałych K i n oraz szerokości – B próbnika, podanej w [66] calach, zestawiono w tabeli 5.6.

**Zestawienie parametrów występujących we wzorze (5.27)
według rodzaju spągu [66]**

Tabela 5.6.

Spąg	Współczynniki		Szerokość próbnika B"
	K	n	
Łupek	2,837	1,28	1 – 12
Węgiel	1,05 ÷ 4,48	1,0 ÷ 1,15	
Łupek piaszczysty	0,87 – 2,95	1,5 – 2,0	1 – 6
Łupek ogniotrwały lub miękki ił	0,01 – 0,15	2,4 – 3,0	
Średnio twarde łupki	— —	1 – 2	1 – 6

Korzystając z wyników badań sformułowano różne klasyfikacje skał spągowych. Przykładowo w tabeli 5.7 zestawiono klasyfikację skał spągowych, według wytrzymałości na jednokierunkowe ściskanie – R_c , opracowaną dla polskich kopalń węgla kamiennego [41].

**Klasyfikacja skał spągowych na podstawie badań prowadzonych w polskich
kopalniach węgla kamiennego [41]**

Tabela 5.7.

Klasa I	Spągi o dużej wytrzymałości, $R_c > 26$ MPa
Klasa II	Spągi o średniej wytrzymałości, $26 \text{ MPa} > R_c > 6,5$ MPa
Klasa III	Spągi o małej wytrzymałości, $R_c < 6,5$ MPa

Kryteria klasyfikacji spągów w aspekcie ich współpracy z sekcją ścianowej obudowy zmechanizowanej stosowane w Rosji [47] uwzględniają nie tylko wytrzymałość spągu na ściskanie. W pracy [47] sformułowano trzy następujące kryteria:

Kryterium stabilności spągu, przy czym stabilność zdefiniowano jako skłonność do zmiany właściwości wytrzymałościowych skał spągowych, występującą po ich odsłonięciu.

Wraz ze zwiększaniem się odległości odsłoniętej powierzchni skał spągowych od czoła ściany zmniejsza się ich nośność, rozumiana jako zdolność do przeciwdziałania zagłębianiu się obudowy w spąg. Wskaźnikiem kryterialnym podziału skał spągowych ze względu na kryterium stabilności spągu jest **współczynnik – P^{sp} stabilności spągu**. Jego wartość jest równa ilorazowi

nośności spągu przy czole ściany i jego nośności w odległości, wynoszącej 4 m od czoła ściany. Założono bowiem, że typowa szerokość wyrobiska ścianowego, wynosi 4 m.

Kryterium nośności spągu. Wskaźnikiem kryterialnym podziału skał spągowych ze względu na to kryterium jest wytrzymałość – σ_s spągu na zagłębianie się obudowy. Wielkość ta jest wyznaczalna doświadczalnie za pomocą specjalnego penetrometru.

Kryterium wytrzymałości spągu na ścinanie spowodowane przemieszczaniem spągnicy. Ma ono postać zależności (5.28):

$$\tau_{ts} = 10 \cdot \frac{F \cdot \sin^2 \alpha}{H \cdot L} \leq |k_t| \quad (5.28)$$

gdzie:

- τ_{ts} – naprężenie styczne w warstwie spągu, ścinanej wskutek przemieszczania spągnicy, MPa;
- F – składowa styczna siły oddziaływania spągnicy na płaszczyznę spągu, kN;
- H – wysokość ścinanej warstwy spągu, cm;
- L – szerokość przedniej części spągnicy, cm;
- k_t – naprężenie dopuszczalne na ścinanie warstwy spągu, MPa.

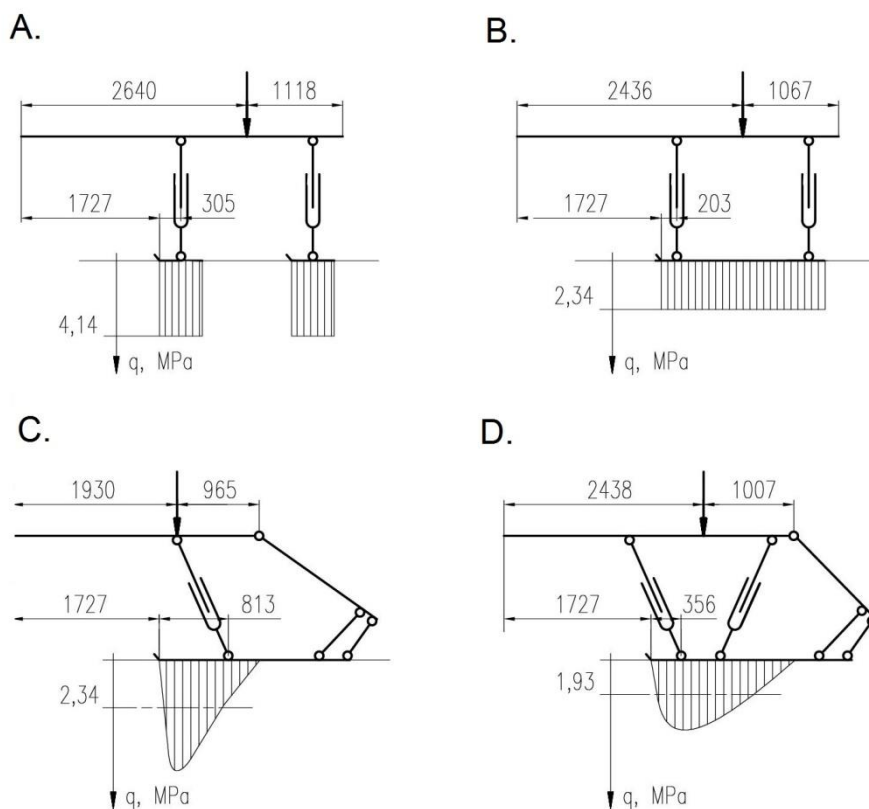
Kryteria klasyfikacji skał spągowych w aspekcie ich współpracy z sekcją obudowy zmechanizowanej, sformułowane w [47], zestawiono w tabeli 5.8.

Kryteria klasyfikacji spągów według [47]

Tabela 5.8.

Kryterium	Klasyfikacja	Wartość wskaźnika kryterialnego
Stabilność spągu	Klasa I – spąg stabilny	$1 < P^{sp} \leq 1,67$
	Klasa II – spąg średnio stabilny	$1,67 < P^{sp} \leq 2,5$
	Klasa I – spąg niestabilny	$2,5 < P^{sp} \leq 4,0$
Nośność spągu	Kategoria I – spąg wytrzymały	$\sigma_s > 4,5 \div 5,0 \text{ MPa}$
	Kategoria II – spąg średnio wytrzymały	$2,5 < \sigma_s \leq 4,5 \text{ MPa}$
	Kategoria III – spąg słaby	$1,5 < \sigma_s \leq 2,5 \text{ MPa}$
Wytrzymałość spągu na ścinanie	$\tau_{ts} = 10 \cdot \frac{F \cdot \sin^2 \alpha}{H \cdot L} \leq k_t $	

Analizując współpracę sekcji obudowy zmechanizowanej ze spągami należy również uwzględnić rozkład reakcji spągu rozłożonej na powierzchni spągnicy. W przypadku słabych spągów (o małej wytrzymałości – patrz tabela 5.7) istotne znaczenie, w aspekcie współpracy spągnicy ze spągami, ma nie tylko wartość średnia nacisku spągnicy na spąg, lecz również odległość od przedniej krawędzi spągnicy do miejsca w którym występuje maksymalna wartość nacisku. Celem wyboru najkorzystniejszej postaci konstrukcyjnej sekcji współpracującej ze słabym spągami w pracy [28] porównano rozkłady nacisku spągnicy na spąg w przypadku czterech rodzajów sekcji: ramowej (rys. 5.25A), kasztowej (rys. 5.25B), osłonowej jednoszeregowej (rys. 5.25C) i osłonowej dwuszeregowej (rys. 5.25D). Podporność jednostkowa wszystkich sekcji, których schematy przedstawiono na rysunku 5.25, wynosiła około 575 kPa.



Rys. 5.25. Rozkłady nacisku na strop i spąg, charakterystyczne dla poszczególnych rodzajów sekcji obudowy zmechanizowanej [28]

A – sekcja ramowa, B – sekcja kasztowa, C – sekcja osłonowa jednoszeregową,
D – sekcja osłonowa dwuszeregową

Równomierny rozkład nacisku na spąg uzyskano w przypadku sekcji ramowej i kasztowej, jednakże ze względu na niewielką powierzchnię spągnic nacisk jednostkowy sekcji ramowej na spąg jest największy. W przypadku sekcji osłonowych rozkład nacisku na spąg jest niejednorodny. Na rysunku 5.25 zaznaczono wartość średniego nacisku sekcji na spąg, wyznaczanego jako iloraz podporności sekcji i powierzchni styku spągnic ze spągiem.

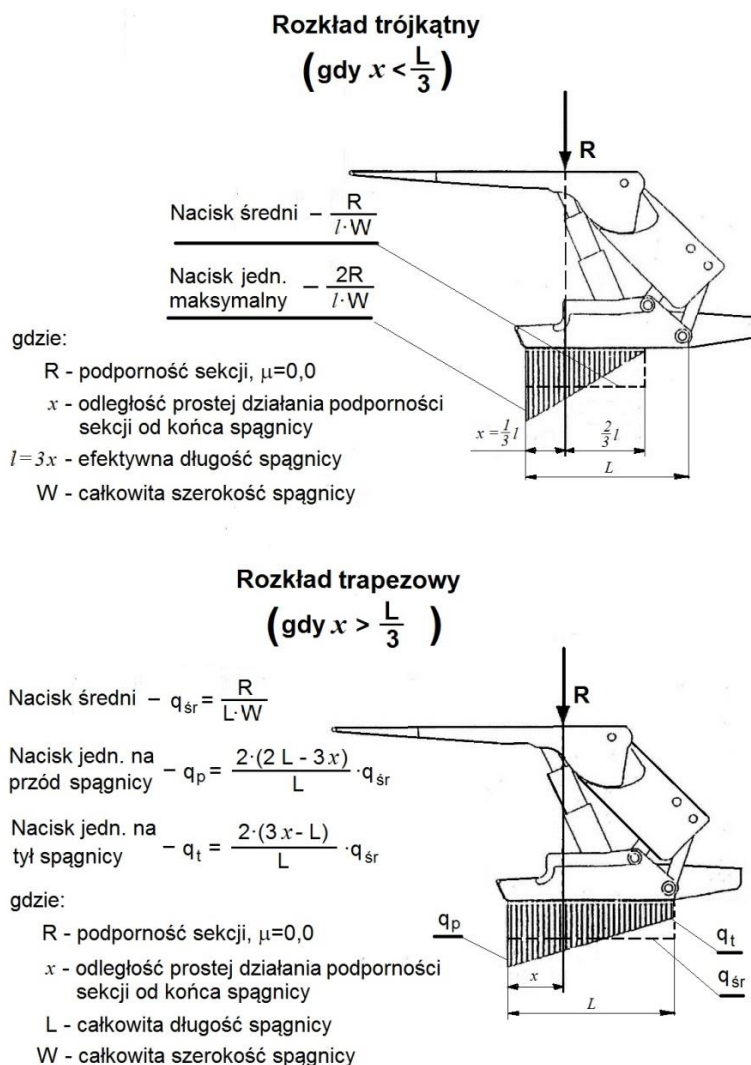
W przypadku jednoszeregowej sekcji osłonowej, przedstawionej na rysunku 5.25 średni nacisk na spąg jest nieco większy od nacisku sekcji kasztowej o tej samej podporności jednostkowej. Maksymalna wartość nacisku jednoszeregowej sekcji obudowy osłonowej jest niemal dwukrotnie większa od nacisku średniego i występuje blisko krawędzi spągnicy. Z tego względu w pracy [69] rekomendowano sekcje kasztowe i osłonowe dwuszeregowe do współpracy ze spągiem o małej wytrzymałości.

Średni nacisk na spąg jest bardzo często podawany w dokumentacji technicznej sekcji. Jego określenie niejednokrotnie jest wymagane w Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia, określonej w procedurze przetargowej na dostawę sekcji obudowy zmechanizowanej. Średni nacisk spągnicy na spąg jest parametrem stosunkowo łatwym do wyznaczenia i prawdopodobnie z tego względu jest używany do, zgrubnego jedynie, porównywania właściwości poszczególnych typów sekcji. Jego przydatność do oceny współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej ze spągiem jest jednak znikoma – znacznie bardziej miarodajnym miernikiem oceny współpracy sekcji ze spągiem jest maksymalna wartość nacisku na spąg.

Z uwagi na stosowaną w Polsce do końca lat 90-tych ubiegłego wieku postać konstrukcyjną sekcji obudowy zmechanizowanej charakteryzującą się praktycznie niezależnym przemieszczaniem się spągnic (sekcje ze spągnicami dzielonymi), rozwiązania analityczne, jak i doświadczalne, dotyczące wyznaczania rozkładu nacisku spągnicy na spąg, ograniczały się do rozpatrywania schematu statycznego spągnicy obciążonego płaskim układem sił. Ze względu na znacznie większą sztywność spągnicy w porównaniu ze sztywnością spągu zazwyczaj spągnicę traktowano jako ciało sztywne.

Spośród metod analitycznych, w których spągnica traktowana jest jako płaskie ciało sztywne, najczęściej w Polsce stosowana jest metoda Jacksona [30]. Istota tej metody sprowadza się do rozpatrzenia równowagi sekcji obudowy zmechanizowanej traktowanej jako ciało sztywne i wyznaczenia punktu przecięcia prostej działania wypadkowej siły nacisku stropu na sekcję, z płaszczyzną spągu (rys. 5.26).

W metodzie tej stosuje się uproszczenia w postaci płaskiego modelu statycznego sekcji oraz nie uwzględnia zarówno nacisku zawału na osłonę odzawałową, jak i sił tarcia pomiędzy stropem a stropnicą. Zakłada się również, że spągnica (czy układ dwóch spągnic) jest ciałem idealnie sztywnym, spoczywającym na idealnie sprężystym podłożu.



Rys. 5.26. Wyznaczanie rozkładu nacisku spągnicy na spąg metodą Jacksona [30]

Wymienione założenia są równoznaczne z przyjęciem liniowego rozkładu nacisku spągnicy na spąg. W związku z tym, w zależności od usytuowania prostej działania wypadkowego obciążenia sekcji otrzymuje się trójkątny, trapezowy,

lub równomierny rozkład nacisku spągnicy na spąg. Stosowane są również modyfikacje metody Jacksona, polegające na uwzględnieniu nacisku zawału na osłonę odzawałową oraz siły tarcia pomiędzy stropnicą a stropem w analizie statycznej sekcji [14, 35, 69, 78, 90].

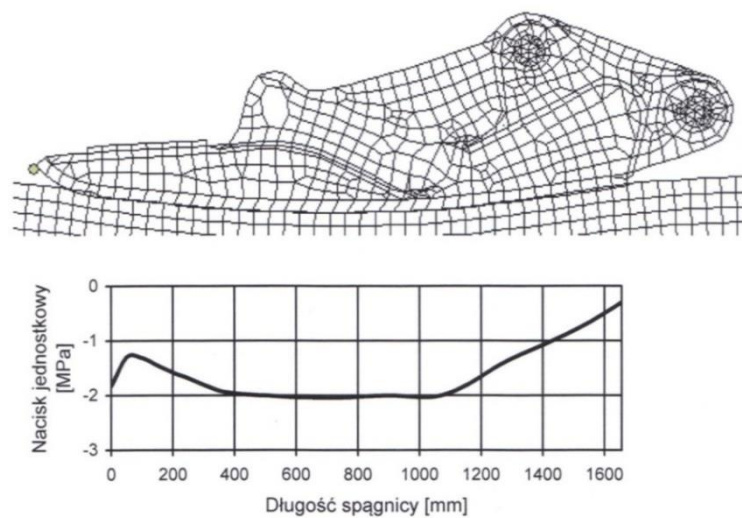
W literaturze [27, 54, 66] opisano także modelowanie współpracy spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej ze spągiem z uwzględnieniem odkształcalności, zarówno spągnicy, jak również spągu. Uwzględnienie zmiany sztywności spągnicy wzdłuż jej długości wiąże się z koniecznością zastosowania metod numerycznych, na przykład metody elementów skończonych do rozpatrywania tego problemu. Wspólnymi cechami wyżej wymienionych modeli są:

- potraktowanie problemu interakcji spągnicy i spągu, jako zadania płaskiego,
- przyjmowanie liniowo sprężystej charakterystyki spągu.

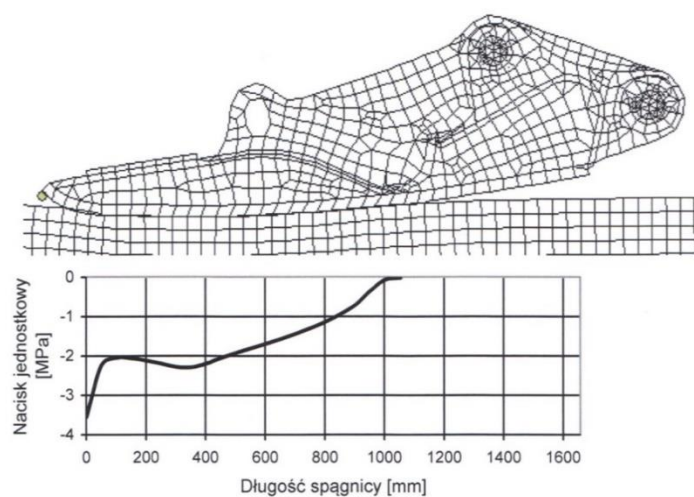
Spąg wyrobiska modeluje się elementami płaskiego stanu odkształcenia, natomiast spągnicę traktuje się, jako płaską tarczę o stałej grubości, bądź – uwzględniając zmianę sztywności zginania na długości spągnicy – modeluje się ją elementami powłokowymi o zmiennej grubości. Przyjmując wyżej wymienione założenia upraszczające można jednak, korzystając z modeli matematycznych współpracy spągnicy ze spągiem zbudowanych w ten sposób, przeprowadzić symulacje komputerowe złożonych zjawisk obserwowanych w praktyce.

Przykładowo na rysunkach 5.27 i 5.28 przedstawiono odkształcone modele spągnicy zbudowanej z elementów powłokowych o zmiennej grubości spoczywającej na spodku oraz rozkład nacisku spągnicy na spodek w przypadku dwóch różnych wysokości pracy sekcji. W obu przypadkach założono występowanie siły tarcia stropnicy sekcji obudowy zmechanizowanej o strop, zwróconej w stronę czoła ściany. Taki zwrot siły tarcia występuje wtedy, gdy podczas rozpierania sekcji stropnica odsuwa się od czoła ściany.

Symulacja znanego z praktyki górniczej zjawiska odrywania się tylnej części spągnicy od spągu, które występuje najczęściej w przypadku skał spągowych charakteryzujących się dużą nośnością, wiąże się z koniecznością przyjęcia więzów jednostronnych na styku stropnicy ze spągiem, bądź rozwiązania problemu metodą kolejnych przybliżeń, różniących się między sobą długością odcinka, na którym rozdzielono węzły na styku spągnicy ze spągiem.

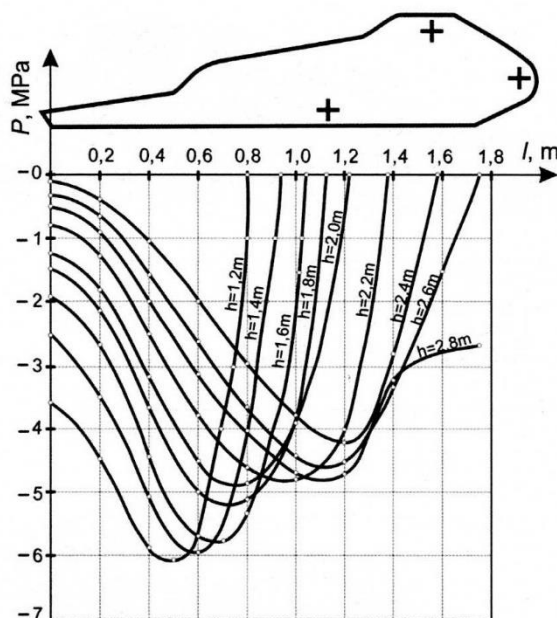


Rys. 5.27. Odształcona postać modelu spągnicy i spągu oraz wyznaczony rozkład nacisku na spąg przy wysokości pracy sekcji 2,0 m [54]



Rys. 5.28. Odształcona postać modelu spągnicy i spągu oraz rozkład nacisku na spąg przy wysokości pracy sekcji 1,2 m [54]

W pracy [55] analizowano wpływ wysokości sekcji oraz rodzaju skał spągowych na rozkład nacisku spągnicy na spąg. W odniesieniu do analizowanej sekcji stwierdzono, że zmniejszanie wysokości rozparcia sekcji skutkuje przemieszczaniem się punktu przyłożenia maksymalnego nacisku w stronę czoła ściany (rys. 5.29).



Rys. 5.29. Rozkład nacisku spągnicy na spąg utworzony z łowca według różnych wysokości sekcji [55]

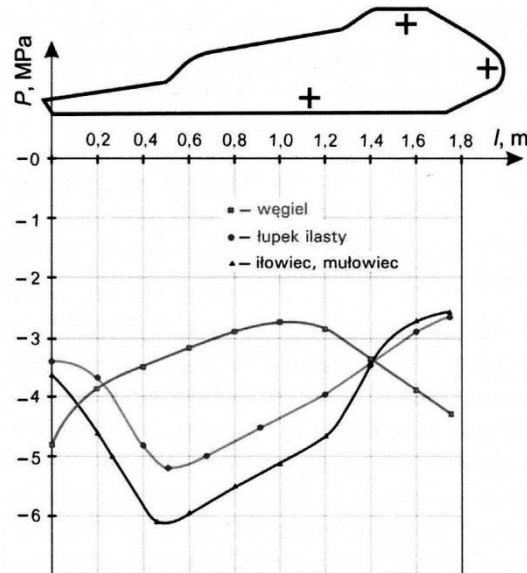
W przypadku, gdy wysokość sekcji była najmniejsza (1,2 m), to ponad połowa powierzchni płyty dolnej spągnicy nie stykała się ze spągiem łowcowym. Wpływ rodzaju skał spągowych (charakteryzowanych przez moduł Younga) na rozkład nacisku spągnicy na spąg, przy wysokości sekcji (2,8 m) przedstawiono na rysunku 5.30.

S.S. Peng [66], stosując regresję liniową w odniesieniu do wyników obliczeń rozkładu nacisku spągnicy na spąg, wykonanych z zastosowaniem analogicznych modeli MES spągnicy i spągu sformułował następującą zależność na maksymalną wartość – p_{max} nacisku spągnicy na spąg. Ze względu na empiryczny charakter zależności (5.29) zachowano oryginalne jednostki wielkości fizycznych występujących w tym równaniu:

$$p_{max} = 1233 + 213 \cdot x_1 + 2,72 \cdot x_2 - 38 \cdot x_3 \quad (5.29)$$

gdzie:

- x_1 - moduł Younga spągu, podany w [10^6 psi],
- x_2 - składowa normalna wypadkowej nacisku spągnicy na spąg, podana w [tonach],
- x_3 - szerokość spągnicy, podana w calach,

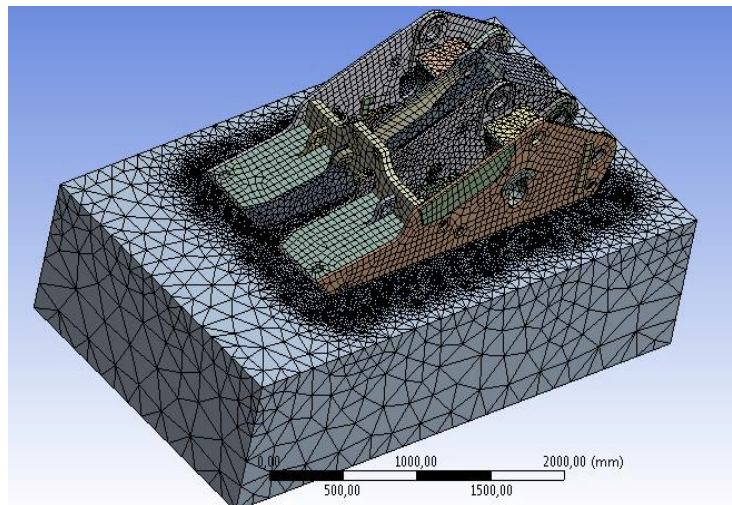


Rys. 5.30. Rozkład nacisku spągnicy na spąg utworzony z różnych skał [55]

Stosowanie we współcześnie produkowanych sekcjach obudowy zmechanizowanej spągnicy typu katamaran (tzn. połączonych sztywnym mostem) oraz zespołu łączników tylnych połączonych płytą sprawia, że postać konstrukcyjna sekcji ma istotniejszy niż dotychczas wpływ, zarówno na maksymalną wartość, jak również na rozkład reakcji spągu na powierzchni styku spągnicy ze spągami. Nie można bowiem założyć niezależnego schematu obciążenia każdej ze spągnic. Jest to równoznaczne z koniecznością rozpatrywania przestrzennego modelu spągnicy i spągu.

Przykładowy model spągnicy typu katamaran, jednoszeregowiej sekcji obudowy zmechanizowanej, spoczywającej na spągu o charakterystyce sprężysto plastycznej przedstawiono na rysunku 5.31. Model spągnicy wiernie odwzorowuje jej postać geometryczną, łącznie z nakładkami wzmacniającymi najbardziej wyťažone obszary. Poszczególne blachy połączone są kontaktem związanym, co wyeliminowało konieczność szczegółowego modelowania połączeń spawanych. Uproszczenie takie w przypadku modelowania kontaktu

spągnicy ze spągiem jest dopuszczalne i ma nieznaczny wpływ na ostateczny wynik obliczeń [56].

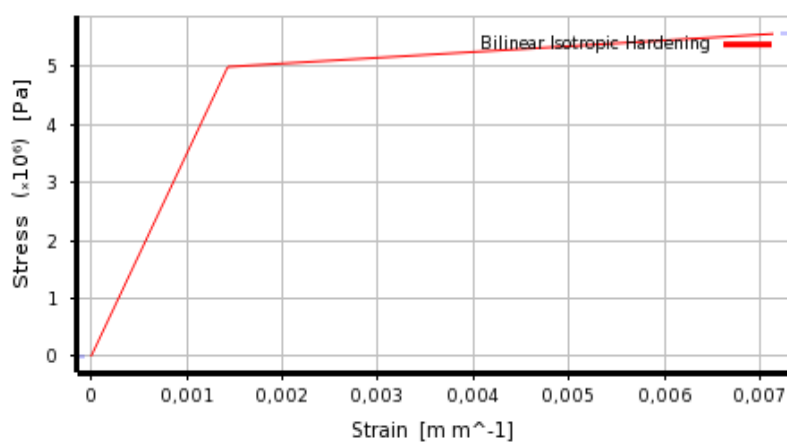


Rys.5.31. Model geometryczny spągnicy i spągu z podziałem na elementy skończone [58]

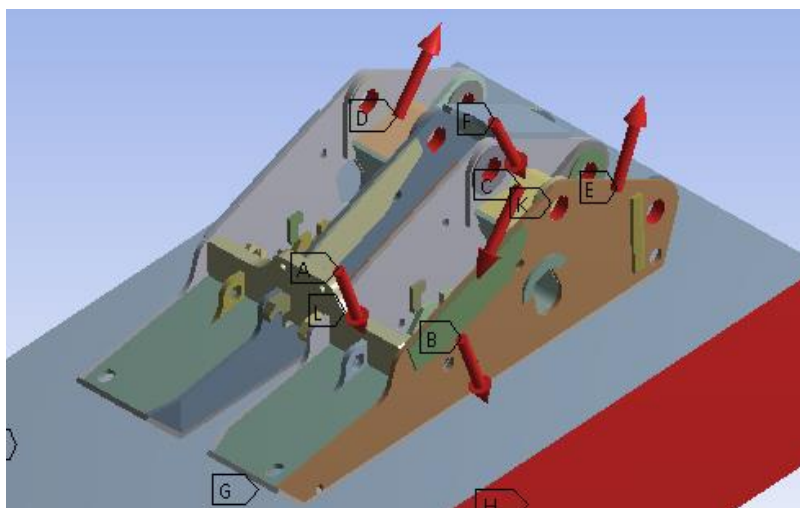
Przykładową charakterystykę materiału spągu przedstawiono na rysunku 5.32. W przypadku rozpatrywanego materiału, przejście w stan plastyczny występuje po przekroczeniu naprężenia o wartości 5 MPa. Styk spągnicy ze spągiem modelowano elementami kontaktowymi, charakteryzowanymi, między innymi, przez współczynnik tarcia, wynoszący 0,3.

Przykładowy model obciążenia spągnicy siłami w stojakach i łącznikach sekcji przedstawiono na rysunku 5.33. Rozpatrywano asymetryczny przypadek obciążenia sekcji. W modelu spągu wprowadzono następujące warunki brzegowe:

- płaszczyzna dolna modelu została utwierdzona poprzez odebranie wszystkich stopni swobody,
- w płaszczyznach bocznych odebrano możliwość przemieszczenia w kierunku prostopadłym do tych powierzchni.

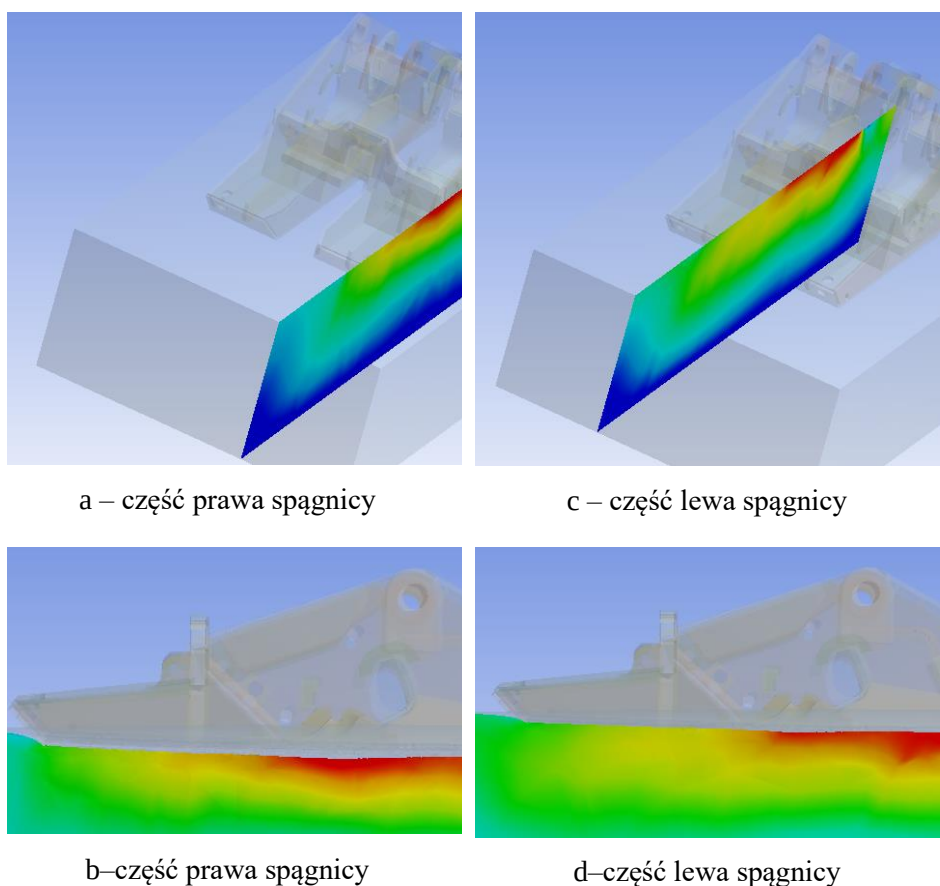


Rys. 5.32. Charakterystyka materiału spągu [58]



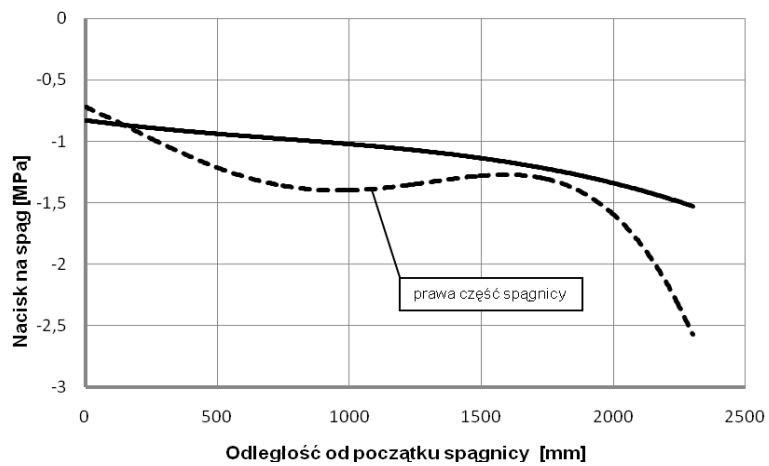
Rys.5.33. Model obciążenia spągnicy [58]

Na rysunku 5.34 przedstawiono mapy przemieszczenia spągu, w dwóch płaszczyznach prostopadłych do czoła ściany, przechodzących przez osie stojaków - prawego (rys. 5.34a, 5.34b) oraz lewego (rys. 5.34c, 5.34d) sekcji. Blacha dolna, zarówno prawej jak i lewej części spągnicy styka się ze spągciem na całej powierzchni. Z uwagi jednak na występującą asymetrię obciążenia, w spągu pod częścią prawą spągnicy (rys. 5.34a i 5.34b) występują istotnie większe przemieszczenia w porównaniu do obszaru spągu położonego pod lewą częścią spągnicy.

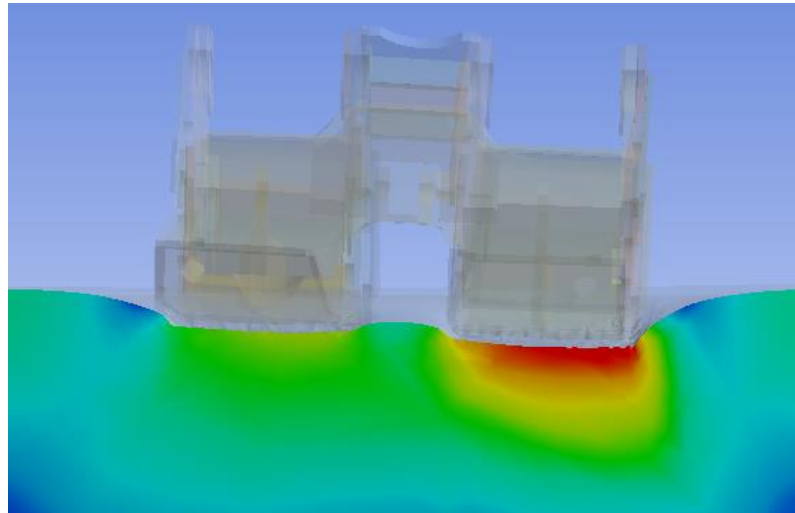


Rys. 5.34. Rozkład przemieszczenia spągu [40]

W przypadku rozpatrywanego asymetrycznego obciążenia sekcji, różnią się także rozkłady nacisku spągnic na spąg w odniesieniu, zarówno do maksymalnej wartości nacisku, jak również intensywności jego zmiany (rys. 5.35). Zasadnicza różnica interakcji lewej i prawej części spągnicy i spągu widoczna jest również w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez gniazda stojaków (rys. 5.36).

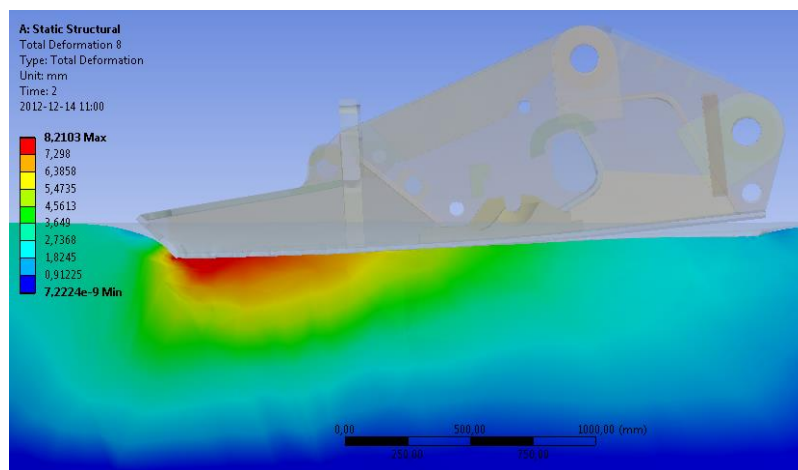


Rys. 5.35. Porównanie rozkładu nacisku dla prawej i lewej części spągnicy [40]



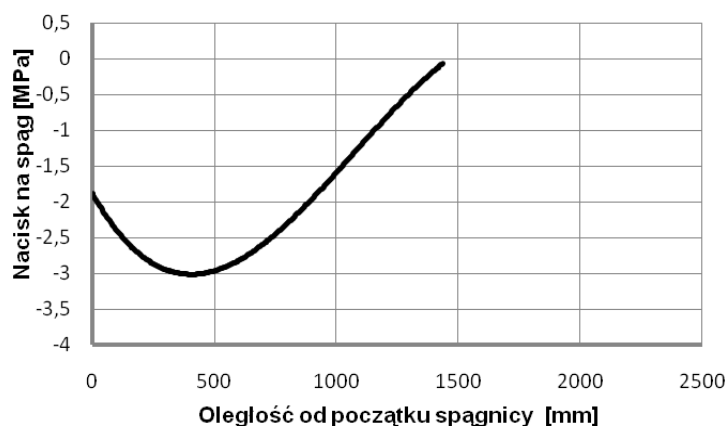
Rys. 5.36. Przemieszczenia spągu w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez gniazda stojaków [40]

Przestrzenne modele współpracy spągnicy ze spągiem umożliwiają również analizowanie przypadków odrywania się części spągnicy od spągu. Przykładowo na rysunku 5.37 przedstawiono odkształconą postać spągu o tej samej charakterystyce, jak w poprzednim przykładzie, uzyskaną w przypadku, gdy pionowe obciążenie zewnętrzne przyłożone jest w płaszczyźnie symetrii sekcji.



Rys.5.37. Przemieszczenia spągnicy i spągu [40]

Kontakt spągnicy ze spągiem obejmuje wówczas około 60% powierzchni blachy dolnej. Rozkład nacisku wzdłuż długości spągnicy dla tego wariantu obciążenia przedstawiono na rysunku 5.38.



Rys. 5.38. Rozkład nacisku na spąg [40]

Zagadnienie wyznaczania rozkładu nacisku na spąg było również przedmiotem wielu eksperymentalnych prac badawczych, np.: [1, 23]. Badania prowadzone w warunkach laboratoryjnych polegały na pomiarach wciskania spągnicy w plastyczne podłoże [66, 97] lub nacisku na spąg za pomocą specjalnej maty pomiarowej złożonej z czujników siły zamocowanych w taśmie przenośnikowej [27]. Wspomniane maty pomiarowe stosowano również do pomiarów wykonywanych w wyrobisku ścianowym [23]. Rezultatem omawianych

pomiarów było wyznaczenie rozkładu nacisku spągnicy na spąg w płaszczyźnie prostopadłej do czoła ściany. Ze względu na stosowane wówczas niezależne spągnice typu belkowego nie wyznaczano rozkładu nacisku w płaszczyźnie równoległej do czoła ściany, zakładając że jest on równomierny. Zastosowanie spągnic typu katamaran we współcześnie produkowanych sekcjach obudowy zmechanizowanej sprawiło, że wzrosło znaczenie rozkładu nacisku spągnicy na spąg w płaszczyźnie równoległej do czoła ściany.

Zagadnienie to było, między innymi, przedmiotem badań zrealizowanych w ramach międzynarodowego projektu badawczego pt.: "Geomechanika słabych spągów i ociosów" o akronimie GEOSOFT [40]. Projekt ten współfinansowany przez Fundusz Badawczy dla Węgla i Stali (RFCR-CT-2010-00001) realizowany był w latach 2010÷2013 m.in. przy współudziale GIG (w skład wykonawców z GIG wchodził również przedstawiciel Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej), PKW ZG Janina i Firmy Becker Warkop.

W ramach projektu przeprowadzono kompleksowe badania współpracy spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej ze spągiem, zarówno laboratoryjne, na stanowisku badawczym w ITG KOMAG, jak i dołowe, w ZG Janina z wykorzystaniem specjalnie do tego celu skonstruowanej i oprzyrządowanej sekcji typu BW 16/34 POz. Wyniki badań, wieloaspektowo analizowane, między innymi w pracach [57, 74, 75, 77, 100, 101], istotnie przyczyniły się do poszerzenia wiedzy w zakresie współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem.

Badania laboratoryjne przeprowadzono w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG na stanowisku badawczym umożliwiającym obciążanie sekcji poprzez aktywny ruch stropu, podobnie, jak to ma miejsce w wyrobisku ścianowym. Celem modelowania w trakcie badań różnej nośności spągu, sekcję rozpartą w stanowisku, posadowiono na „poduszce hydraulicznej” (rys. 5.39) zbudowanej z 24 siłowników o indywidualnie regulowanych nastawach.

Przedmiotem badań była sekcja typu BW 16/34 POz wyposażona w specjalny układ pomiarowy, umożliwiający monitorowanie (z częstotliwością próbkowania 1Hz), wizualizację, a także archiwizację następujących parametrów sekcji:

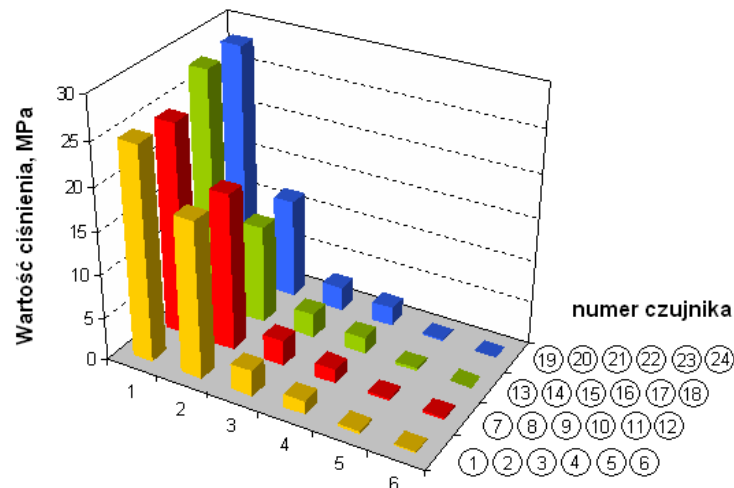
- ciśnienie w przestrzeniach podtłokowych, zarówno stojaków, jak i podporze stropnicy,
- cechy geometryczne sekcji obudowy zmechanizowanej, określane dzięki zastosowaniu pięciu inklinometrów zabudowanych kolejno na: stropnicy, osłonie, łącznikach, spągnicy i stojakach,
- odkształcenie w jedenastu wybranych punktach różnych elementów sekcji wyznaczanego za pomocą tensometrów elektrooporowych.



Rys. 5.39. Poduszka hydrauliczna wykorzystywana podczas badań laboratoryjnych umożliwiającą symulację współpracy sekcji ze spągami [40]

Na rysunku 5.40 przedstawiono zarejestrowany rozkład ciśnienia w poszczególnych siłownikach poduszki hydraulicznej przy symetrycznym obciążeniu stropnicy. Rozkłady ciśnienia w siłownikach pod lewą i prawą spągnicą różnią się pomimo tego, że nastawy bloków zaworowych w siłownikach poduszki hydraulicznej były identyczne, a obciążenie przyłożone stropnicy sekcji było symetryczne. Prawdopodobną przyczyną niesymetrycznego rozkładu nacisku jest nierównomierny rozkład obciążenia węzłów kinematycznych sekcji spowodowany luzami montażowymi i niedokładnościami wykonania tych węzłów.

Wyniki pomiarów tensometrycznych zarejestrowane w trakcie badań laboratoryjnych przy symetrycznym obciążeniu sekcji, również potwierdziły różne wyężenie elementów położonych symetrycznie względem płaszczyzny symetrii sekcji.

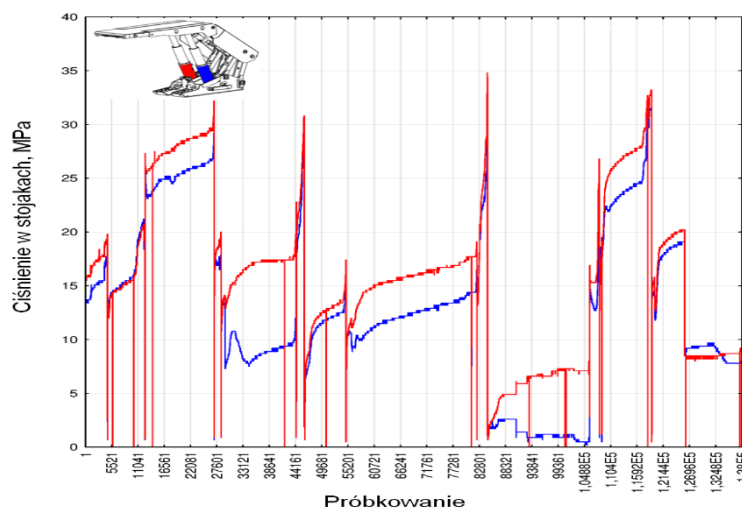


Rys. 5.40. Rozkład ciśnienia w siłownikach poduszki hydraulicznej, przy symetrycznym obciążeniu stropnicy w trakcie badań laboratoryjnych [40]

Przedmiotem badań wykonanych w wyrobisku ścianowym była również sekcja obudowy zmechanizowanej typu BW 16/34 POz wyposażona w specjalny układ pomiarowy. Zastosowanie pięciu inklinometrów umożliwiło precyzyjne odwzorowanie cech geometrycznych sekcji rozpartej w wyrobisku i rejestrację zmian tych cech w trakcie cyklu pracy sekcji, z możliwością korekty cech łańcucha kinematycznego sekcji spowodowanych luzami w parach obrotowych sekcji.

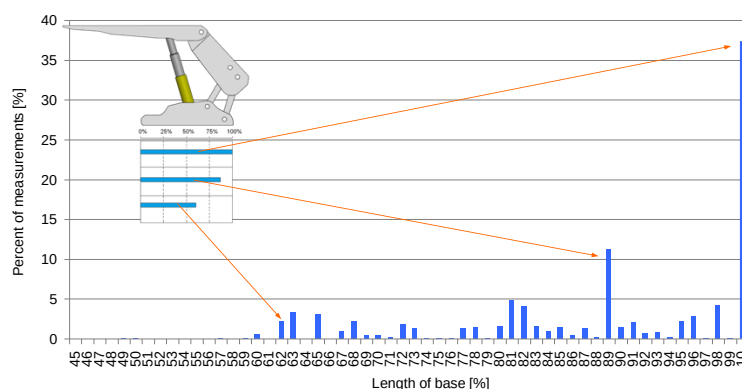
Na rysunku 5.41 przedstawiono przykładowe wykresy zmian ciśnienia w stojaku lewym i prawym sekcji, zarejestrowane podczas biegu ściany. Z przedstawionego wykresu wynika, że chwilowe obciążenie stojaków lewego i prawego nie jest identyczne i w poszczególnych cyklach pracy sekcji różni się istotnie. Należy zaznaczyć, że podczas badań, w warunkach braku dopływu wody do wyrobiska, nie zauważono niszczenia struktury skał spągowych skutkującego „wciskaniem i zatapianiem” się spągnicy w spąg wyrobiska. Reakcja podłoża umożliwiała osiągnięcie wartości podporności roboczej sekcji.

Zastosowanie inklinometrów umożliwiło również precyzyjne określenie postaci geometrycznej łańcucha kinematycznego sekcji rozpartej w ścianie i uwzględnienie jej w analizie rozkładu obciążenia ciągłego na powierzchni spągnicy.



Rys. 5.41. Przykłady przebiegów czasowych ciśnienia w przestrzeni podłokowej stojaków sekcji, zarejestrowane w ścianie [40]

Na rysunku 5.42 przedstawiono procentowy rozkład obszaru kontaktu spągnicy ze spągiem wyznaczony na podstawie pomiarów w wyrobisku.



Rys. 5.42. Procentowy rozkład obszaru kontaktu spągnicy ze spągiem [40]

W 37% przypadków spągnica na całej swej powierzchni stykała się ze spągiem. Najmniejszy zarejestrowany obszar kontaktu spągnicy ze spągiem obejmował 60% jej powierzchni (około 1% zarejestrowanych przypadków).

Z przeprowadzonych badań wynika, że w przypadku niezawodzonego spągu o małej nośności zmiany postaci geometrycznej łańcucha kinematycznego sekcji powodują, że obszar kontaktu spągnicy ze spągiem obejmuje ponad 60% powierzchni blachy dolnej spągnicy. Można więc stwierdzić, że współpraca spągnicy ze spągiem w tych warunkach jest korzystna, zarówno w aspekcie podporności sekcji, jak również wytrzymałości podstawowych jej elementów [40].

6. Charakterystyka rozwiązań konstrukcyjnych w aspekcie doświadczeń eksploatacyjnych

Użytkowanie sekcji obudowy zmechanizowanej wiąże się z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa poprzez spełnienie wymagań określonych w przepisach dotyczących prowadzenia ruchu zakładu górniczego. Przed zastosowaniem danego typu sekcji obudowy zmechanizowanej w konkretnej ścianie należy przeprowadzić analizę poprawności współpracy sekcji z górotworem w danych warunkach geologiczno-górnich. Temu zagadnieniu poświęcony jest rozdział 5.

Zastosowanie w jednej ścianie kilku typów sekcji obudowy wiąże się z koniecznością dodatkowego rozpatrzenia możliwości ich współpracy zarówno z uwagi na warunki geologiczno-górnich panujące w wyrobisku, jak i ze względu na uwarunkowania mechaniczne, wynikające z zabezpieczania przedziału roboczego wyrobiska przez urządzenia o odmiennej postaci konstrukcyjnej i odmiennych właściwościach kinematycznych. Analiza tej problematyki jest cennym źródłem informacji odnośnie do potrzeby kształtowania pożądanych cech konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej (dotyczy to również współpracy sekcji liniowych i sekcji skrajnych tego samego typu sekcji). Kolejnym źródłem informacji są obserwacje i doświadczenia eksploatacyjne. Oprócz okresowych przeglądów wykonywanych przez użytkownika obudowy zmechanizowanej, po zakończeniu eksploatacji ściany, a przed zastosowaniem sekcji obudowy w kolejnej ścianie należy dokonać oceny stanu technicznego sekcji. Doświadczenia uzyskane w trakcie opracowywania wspomnianych ocen pozwalają na określenie zmian postaci konstrukcyjnej zespołów sekcji umożliwiających poprawę bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego. Wieloletni udział pracowników ITG KOMAG, w tym autorów niniejszej monografii, w procesie oceny stanu technicznego sekcji obudowy, pozwala na określenie wpływu warunków eksploatacji na stan techniczny zespołów sekcji oraz na scharakteryzowanie niezawodności sekcji i jej najważniejszych zespołów.

6.1. Wpływ współpracy różnych typów sekcji w tym samym wyrobisku ścianowym na postać konstrukcyjną zespołów sekcji

Problematyka współpracy różnych typów sekcji obudowy zmechanizowanej w jednej ścianie pojawiła się na początku lat 80, jednak dopiero w 2002 roku została ostatecznie uregulowana prawnie w § 440 ust.8 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dn. 28. czerwca 2002 r., w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego

w podziemnych zakładach górniczych [130]. W przywołanym akcie prawnym na użytkowników sekcji obudowy zmechanizowanej nałożono obowiązek uzyskania (przed rozpoczęciem eksploatacji ściany wydobywczej wyposażonej w więcej niż jeden typ obudowy) opinii rzeczoznawcy, która określa czy sekcje obudowy przeznaczone do użytkowania w konkretnej ścianie mogą ze sobą współpracować. Ponieważ początkowe brzmienie § 440 ust. 8 dopuszczało dowolność interpretacji zapisu tam zawartego, dlatego zwrócono się do Wyższego Urzędu Górniczego o sprecyzowanie zapisów powyższego paragrafu. Wyższy Urząd Górniczy określił, że opinie rzeczoznawcy mają być wydawane przez jednostki uprawnione przez Urząd, na podstawie metodyki działania opracowanej przez daną jednostkę.

W znowelizowanym rozporządzeniu [131] z 2006 r. wprowadzono zapis o konieczności uwzględnienia w opinii rzeczoznawcy, zarówno parametrów technicznych sekcji obudowy, jak i warunków geologiczno-górnich panujących w parceli projektowanego wyrobiska ścianowego. ITG KOMAG w latach 2003-2016 wydał dla większości kopalń polskiego przemysłu węglowego łącznie niemal 200 opinii rzeczoznawcy.

6.1.1. Metodyka działań rzeczoznawcy

Metodyka działań rzeczoznawcy, na podstawie której KOMAG wydaje opinie, przewiduje następujące działania [88]:

- a. Zapoznanie się z warunkami geologiczno – górnich i technicznymi projektowanej ściany oraz wyposażeniem maszynowym ściany,
- b. Analiza poprawności doboru typów sekcji obudowy zmechanizowanej zastosowanych w ścianie do określonych warunków geologiczno-górnich.
- c. Analiza charakterystyk technicznych przedmiotowych sekcji obudowy na podstawie ich Dokumentacji Techniczno-Ruchowej (Instrukcji), ze szczególnym zwróceniem uwagi na:
 - zakres wysokości roboczej i dopuszczalne nachylenia,
 - wartości ciśnienia zasilania,
 - wartości podporności wstępnej i roboczej,
 - krok przemieszczania sekcji,
 - charakter współpracy z przenośnikiem ścianowym.
- d. Sporządzenie rysunków przekrojów poprzecznych ściany wyposażonej w określony kombajn, przenośnik i sekcje obudowy zmechanizowanej, w celu sprawdzenia:

- utrzymywanej rozpiętości wyrobiska ścianowego na przewidywanej wysokości pracy dla każdego typu sekcji,
 - maksymalnej wielkości nieosłoniętej przyczołowej części stropu w celu porównania jej wymiarów z wymiarami dopuszczalnymi w danej ścianie, a dotyczącymi m.in. samonośności stropu,
 - minimalnych wymiarów przejścia dla załogi pod kątem ich zgodności z obowiązującymi przepisami,
 - zabezpieczenia przedziału roboczego wyrobiska przed opadającymi ze stropu skałami,
 - możliwości utraty kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych sąsiednich sekcji, przy ich względnym przesunięciu w zakresie pełnego skoku siłownika przesuwu sekcji,
 - możliwości kolizji sekcji obudowy z kombajnem i przenośnikiem ścianowym.
- e. Sprawdzenie możliwości prawidłowego połączenia mechanizmu przesuwania sekcji obudowy z rynną przenośnika ścianowego oraz ewentualne wskazanie sposobu zapewnienia odpowiedniej współpracy wymienionych zespołów.

6.1.2. Modyfikacje postaci konstrukcyjnej zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej

Analizy prowadzone na podstawie wyżej wymienionej metodyki działań rzeczoznawcy, umożliwiają stwierdzenie pewnych nieprawidłowości związanych z zastosowaniem w jednej ścianie różnych typów sekcji obudowy zmechanizowanej. Takimi nieprawidłowościami są np.:

- niedostosowanie kroku odbudowy do zabioru kombajnu ścianowego,
- zbyt mała lub zbyt duża nieosłonięta przyczołowa część stropu,
- utrata kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych sąsiednich sekcji, przy przesunięciu jednej sekcji obudowy względem drugiej, w zakresie pełnego skoku przesuwnika zestawu,
- kolizja sekcji obudowy z elementami kombajnu ścianowego,
- niekompatybilność połączenia mechanizmów przesuwania sekcji obudowy z rynną przenośnika ścianowego.

Elementy obudowy zmechanizowanej, na których postać konstrukcyjną mają wpływ wskazane nieprawidłowości to osłony boczne osłony odzawałowej, przesuwniki sekcji, belki układu przesuwnego i łączniki pośrednie układu przesuwnego. W wielu przypadkach wnioski z przeprowadzonych analiz wskazują na konieczność wprowadzenia zmian konstrukcyjnych w tych zespołach [88].

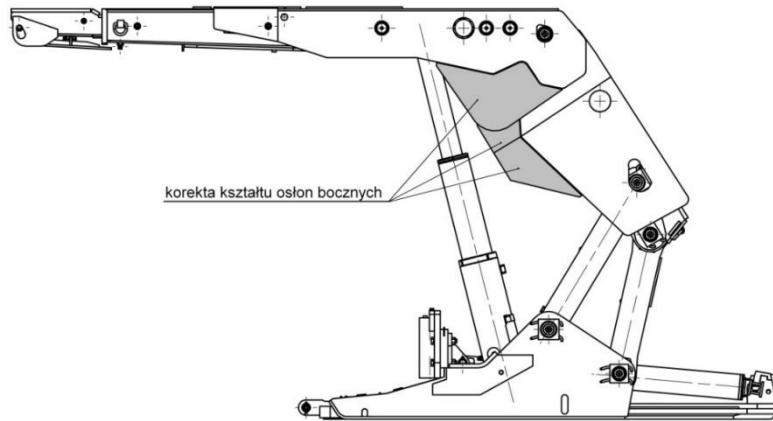
6.1.2.1. Korekty postaci konstrukcyjnej osłon bocznych osłon odzawałowych

Konieczność zmiany postaci konstrukcyjnej osłon bocznych osłon odzawałowych spowodowana była najczęściej ujawnioną utratą kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych sąsiednich sekcji, przy przesunięciu jednej sekcji obudowy względem drugiej, w zakresie pełnego skoku przesuwника zestawu. Zjawisko to może wystąpić w kilku przypadkach:

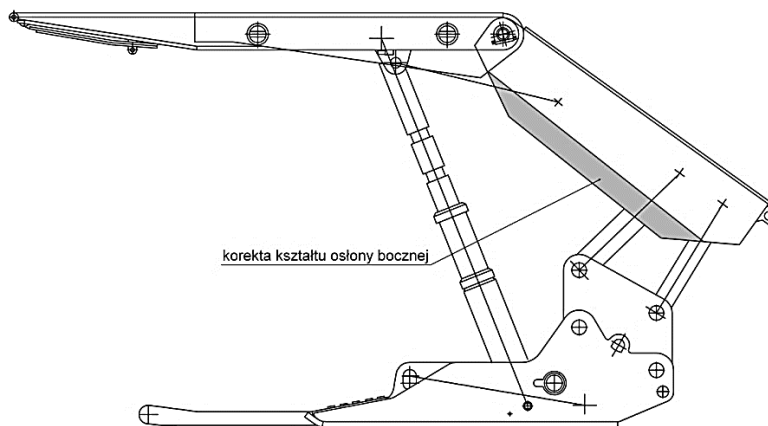
- współpraca sąsiadujących ze sobą sekcji obudowy, z których jedna pracuje przy rynnie liniowej przenośnika ścianowego, a druga przy płycie podnapędowej lub płycie rynny dołącznej napędu zwrotnego lub wysypowego;
Mogą to być sekcje różnego lub tego samego typu, gdyż opisywane zjawisko ma swoje przyczyny w zmieniającej się, w zależności od konkretnej ściany, budowie i wymiarach płyt podnapędowych lub płyt rynien dołącznych w rejonach napędów przenośnika. Sekcje obudowy projektowane są zwykle dla warunków i umaszynowania konkretnej ściany, w konkretnej kopalni. Zmiana lokalizacji sekcji (kopalni lub ściany) najczęściej skutkuje zmianą typu przenośnika ścianowego zastosowanego w kompleksie ścianowym. W konsekwencji takie zmiany wyposażenia ściany powodują często zjawisko utraty kontaktu osłon bocznych sekcji podczas ich przesuwania;
- w przypadku gdy do rynny liniowej przenośnika ścianowego połączone są obok siebie sekcje różnego typu, o znacząco różnych cechach geometrycznych, a w szczególności o odmiennej długości belki układu przesuwne;
- dostosowanie kroku jednej ze współpracujących ze sobą sekcji odbudowy do zabioru kombajnu ścianowego;
Wynikająca stąd zmiana położenia sekcji obudowy względem przenośnika ścianowego jest przyczyną utraty kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych sąsiednich sekcji, przy przesunięciu jednej z nich z wykorzystaniem pełnego skoku przesuwnika;
- zbyt mała lub zbyt duża nieosłonięta przyczółowa część stropu powoduje konieczność korekty położenia sekcji obudowy względem przenośnika ścianowego, co także jest przyczyną utraty kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych sąsiednich sekcji, przy przesunięciu jednej z nich z wykorzystaniem pełnego skoku przesuwnika.

W takich i podobnych przypadkach zachodziła konieczność zmiany kształtu osłon bocznych osłon odzawałowych sekcji współpracujących ze sobą (w strefie

utrąty kontaktu osłon bocznych). Przykładowe sekcje obudowy ze skorygowanym kształtem osłon bocznych osłony odzawałowej przedstawiono na rysunkach 6.1 i 6.2. Sekcje te mają różne kształty lewej i prawej osłony bocznej osłony odzawałowej.



Rys. 6.1. Przykładowa sekcja obudowy ze skorygowanym kształtem osłon bocznych osłony odzawałowej i stropnicy [źródło: opracowanie własne]

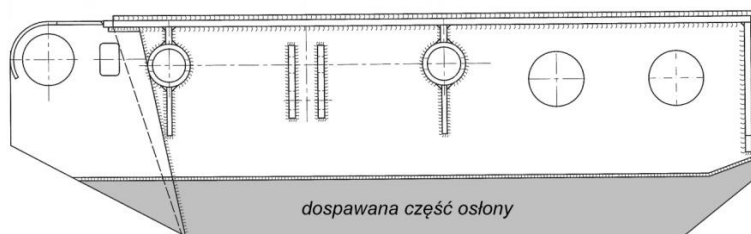


Rys. 6.2. Przykładowa sekcja obudowy ze skorygowanym kształtem osłon bocznych osłony odzawałowej [źródło: opracowanie własne]

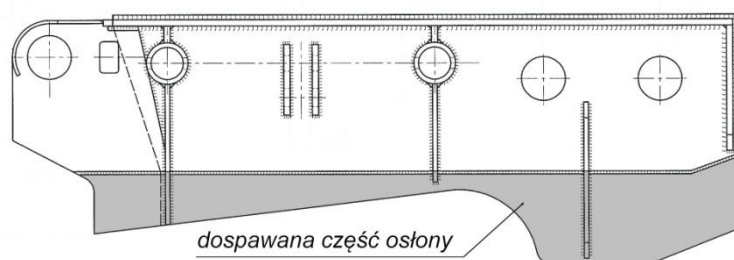
Korekta kształtu była często konieczna w odniesieniu do osłon bocznych kilku kolejno sąsiadujących ze sobą sekcji. Najczęściej polegała ona na poszerzeniu jednej osłony bocznej przez dospawanie dodatkowej blachy o zróżnicowanym

kształcie. Przykładowe skorygowane postacie konstrukcyjne osłon bocznych przedstawiono na rysunkach 6.3 i 6.4.

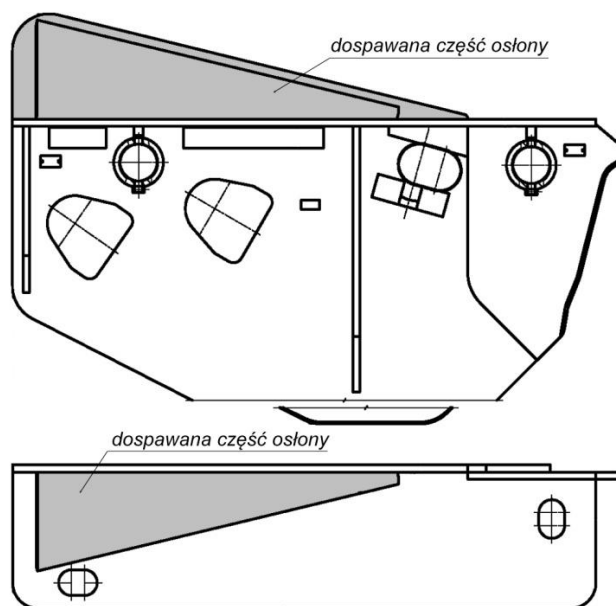
Rzadziej konieczne było zastosowanie poszerzenia osłony w stronę zawału poprzez dospawanie elementów z blach na górnej części osłony bocznej, widoczne na rysunku 6.5.



Rys. 6.3. Przykładowa korekta kształtu osłony bocznej osłony odzawałowej [104]



Rys. 6.4. Przykładowa korekta kształtu osłony bocznej osłony odzawałowej [104]



Rys. 6.5. Alternatywny sposób skorygowania kształtu osłony bocznej osłony odzawałowej [104]

Likwidowanie niekorzystnego zjawiska utraty kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych sąsiednich sekcji, przy przesunięciu jednej z nich o pełny skok przesuwnika, poprzez zmianę kształtu osłon bocznych osłon odzawałowych, z biegiem czasu zanika jako rozwiązanie nieopłacalne i mało uniwersalne. Rozwiązanie to jest zastępowane przez stosowanie łączników pośrednich belki układu przesuwnego lub rozwiązania technologiczne związane z kolejnością dostawiania sekcji do przenośnika ścianowego.

6.1.2.2. Korekty postaci konstrukcyjnej przesuwników sekcji

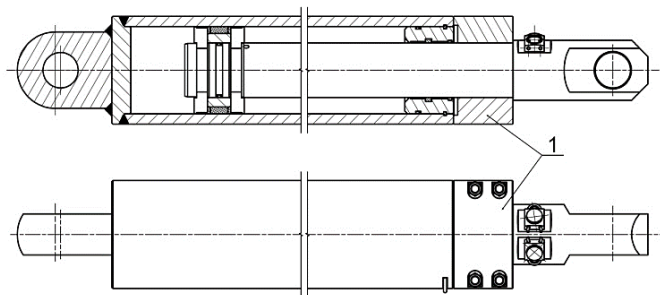
Konieczność zmiany postaci konstrukcyjnej przesuwników sekcji spowodowana była najczęściej niezgodnością kroku sekcji odbudowy i zabioru kombajnu ścianowego [61]. Zazwyczaj sekcje obudowy zmechanizowanej są przystosowane do współpracy z kombajnem ścianowym o zabiorze wynoszącym 800 mm, podczas gdy zabory kombajnów użytkowanych obecnie najczęściej mieszczą się w przedziale 650÷800 mm. Jeżeli w ścianie przewidziano zastosowanie kombajnu o zabiorze mniejszym od 800 mm, to wtedy pojawia się konieczność ograniczenia skoku przesuwnika sekcji. Konieczność zmiany skoku przesuwnika sekcji występuje również wtedy, gdy użytkownik obudowy zrezygnuje ze stosowania mechanicznego podnośnika spągnic (powszechnie

stosuje się skrótowe oznaczenie – mps), w sekcjach obudowy ze spągnicami dzielonymi. Wynika to z faktu, że sekcje obudowy przystosowane do zabudowy mechanicznego podnośnika spągnic są wyposażane w przesuwniki o skoku zwiększonym o 100÷150 mm. Nadmiar skoku jest wykorzystywany do podnoszenia spągnic sekcji podczas jej przesuwania. Rezygnacja z mps powoduje konieczność ograniczenia skoku przesuwnika sekcji.

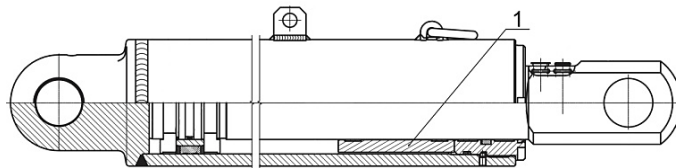
Kolejnym powodem koniecznej zmiany skoku przesuwnika sekcji jest potrzeba odsunięcia sekcji od czoła ściany ze względu na zbyt małą nieosłoniętą przyczolową ścieżkę stropu i spowodowaną tym, możliwą kolizję organu urabiającego kombajnu ze stropnicą sekcji obudowy.

Ograniczenie skoku przesuwnika sekcji można uzyskać kilkoma sposobami:

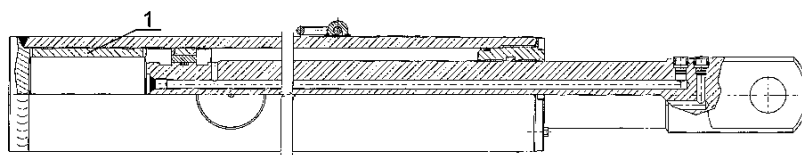
- przez nałożenie na drąg tłokowy zewnętrznych tulei dzielonych (rys. 6.6),
- przez wprowadzenie w część nadłokową, do środka przesuwnika sekcji, tulei wyposażonych w pierścienie prowadzące (rys. 6.7),
- przez wprowadzenie w część podłokową, do środka przesuwnika sekcji, tulei wyposażonych w pierścienie prowadzące (rys. 6.8).



Rys. 6.6. Przesuwnik sekcji z zewnętrzną tuleją dzieloną (1) ograniczającą jego skok [104]

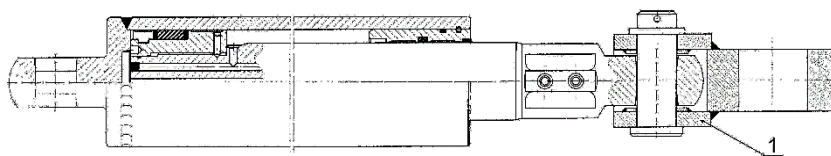


Rys. 6.7. Przesuwnik sekcji z wewnętrzną tuleją (1) w przestrzeni nadłokowej, ograniczającą jego skok [104]



Rys. 6.8. Przesuwnik sekcji z wewnętrzną tuleją (1) w przestrzeni podłokowej ograniczającą jego skok [104]

Odsunięcie sekcji od czoła ściany w celu powiększenia zbyt małej nieosłoniętej przyczółkowej ścieżki stropu próbowano również realizować przez zastosowanie przedłużacza mechanicznego, zakładanego na drąg przesuwnika sekcji (rys. 6.9). Było to jednak rozwiązanie stosowane sporadycznie. Nie znalazło szerszego zastosowania, gdyż charakteryzowało się dużą awaryjnością.



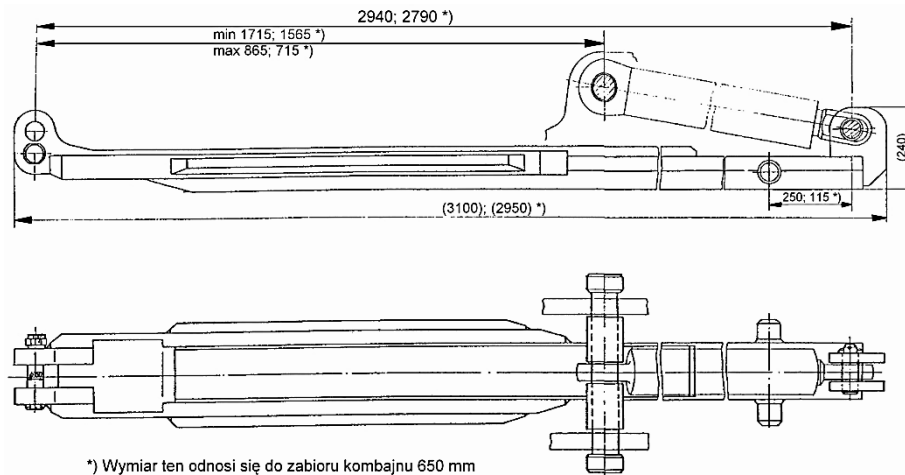
Rys. 6.9. Zastosowanie przedłużacza mechanicznego (1) w przesuwniku sekcji [104]

Z biegiem lat, wskutek powszechnego stosowania w kombajnach ścianowych organów urabiających o szerokości, wynoszącej 800 mm i zgodnego z nią kroku nowo projektowanych sekcji obudowy, konieczność dostosowania kroku sekcji do wielkości zabioru kombajnu ścianowego, coraz rzadziej ujawnia się na etapie opracowywania opinii rzeczoznawcy. Aktualnie potrzeba zmiany kroku sekcji występuje głównie w przypadku rezygnacji ze stosowania mechanicznego podnośnika spągnic sekcji obudowy zmechanizowanej.

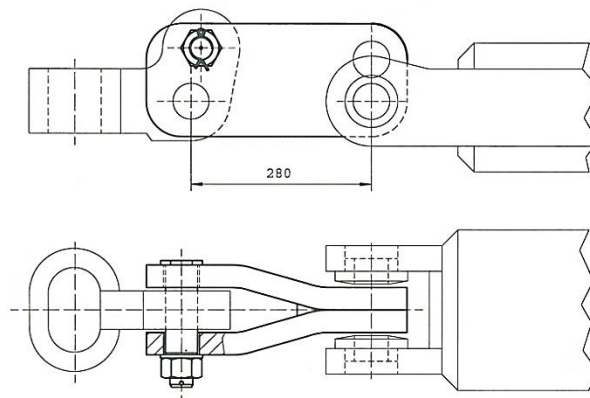
6.1.2.3. Korekty postaci konstrukcyjnej belek układu przesuwnego

Na postać konstrukcyjną belki układu przesuwnego mają wpływ wszystkie niekorzystne zjawiska ujawniane w wyniku analiz prowadzonych przy opracowywaniu opinii rzeczoznawcy. Problemy jakie pojawiały się na skutek współpracy różnych typów sekcji obudowy w jednej ścianie, doprowadziły do zasadniczych zmian postaci konstrukcyjnej belek układu przesuwnego stosowanych na przestrzeni lat. Powszechnym zjawiskiem było stosowanie dla jednego typu sekcji obudowy zmechanizowanej belek układu przesuwnego o różnej długości (rys. 6.10), co było związane z jej dostosowaniem do współpracy z kombajnami ścianowymi o różnych zabiorach. W przypadku utraty kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych sąsiednich sekcji obudowy

podczas ich przesuwania, można było zastosować krótsze lub dłuższe belki układu przesuwnego likwidując to zjawisko. Zmiana długości belki układu przesuwnego umożliwia również korektę szerokości przczołowej ścieżki stropu. Rozwiązanie to generowało jednak duże koszty, gdyż komplet ścianowy był wyposażony w podwójne belki układu przesuwnego. Konieczność oszczędzania nakładów inwestycyjnych spowodowała pojawienie się rozwiązania w postaci łączników pośrednich o różnych długościach (rys. 6.11).



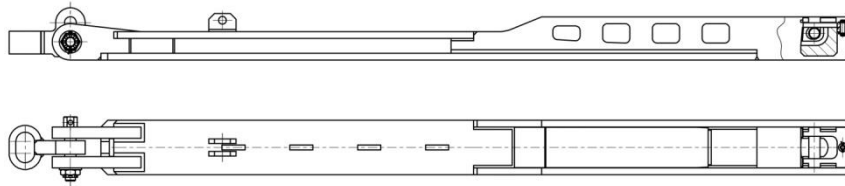
Rys. 6.10. Belka układu przesuwnego o różnej długości, w zależności od zabioru kombajnu zastosowanego w ścianie [104]



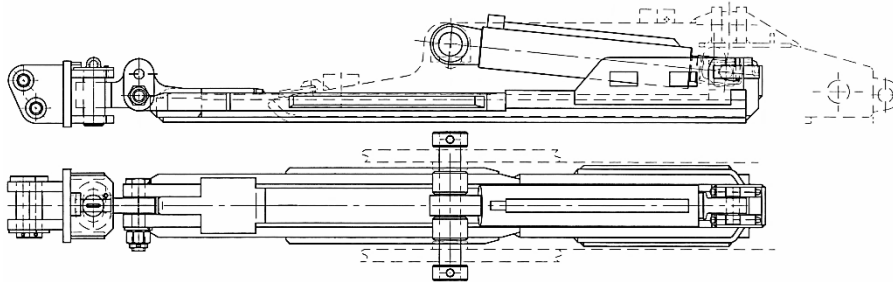
Rys. 6.11. Łącznik pośredni jako sposób regulacji długości belki układu przesuwnego [104]

Użytkowanie w górnictwie różnych typów przenośnika ścianowego oraz różnice w budowie rynien przenośników ścianowych tego samego typu,

powoduje, że jednym z elementów opinii rzeczoznawcy często jest wskazanie sposobu dostosowania połączenia mechanizmu przesuwania sekcji obudowy z rynną przerośnika ścianowego. Pojawiły się zespoły łączników pośrednich, ułatwiających, zarówno zmianę długości belki układu przesuwne (różne długości łączników), jak i właściwe połączenie sekcji obudowy z rynną przerośnika ścianowego. Możliwe jest połączenie belki układu przesuwne z rynną przerośnika ścianowego sworzniem pionowym przerośnika (rys. 6.12) lub połączenie sworzniem poziomym w jednym wydłużonym otworze (rys. 6.13) albo połączenie sworzniami poziomymi w dwóch otworach (rys. 6.14).



Rys. 6.12. Łącznik układu przesuwne, umożliwiający połączenie belki z rynną przerośnika ścianowego za pomocą pionowego sworznia [104]



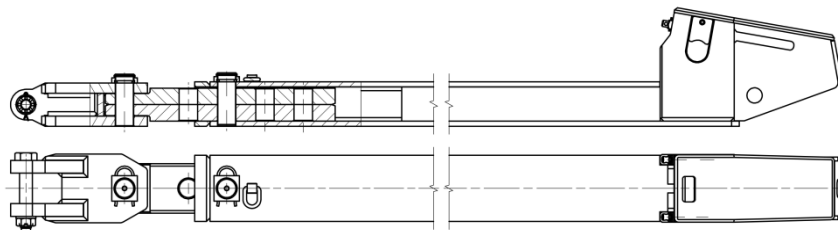
Rys. 6.13. Łącznik układu przesuwne umożliwiający połączenie belki z rynną przerośnika ścianowego za pomocą poziomego sworznia [104]



Rys. 6.14. Łącznik układu przesuwne służący do połączenia belki z rynną przerośnika ścianowego za pomocą poziomych sworzni [104]

Kolejnym etapem zmiany postaci konstrukcyjnej belki układu przesuwne było pojawianie się belek o zmiennej długości (rys. 6.15). Rozwiązanie to,

stosowane obecnie w większości nowo projektowanych sekcji obudowy, umożliwia likwidację wszystkich niekorzystnych zjawisk ujawnianych w wyniku analiz prowadzonych przez rzeczoznawcę, a wymagających zmiany długości belki układu przesuwne. Wyposażenie belek w wymienne łączniki zapewniające połączenie z różnymi stosowanymi rynnami przenośnika ścianowego, umożliwia łatwe dostosowanie układu przesuwne sekcji obudowy zmechanizowanej do współpracy z różnymi typami przenośników ścianowych.



Rys. 6.15. Belka układu przesuwne o zmiennej długości [104]

Przedstawiona ewolucja postaci konstrukcyjnej belek układu przesuwne była, między innymi, wymuszona zjawiskami ujawnianymi w wyniku opracowywania opinii rzeczoznawcy, dotyczących współpracy różnych typów sekcji obudowy w jednym wyrobisku ścianowym. Obecnie najpowszechniej stosowanymi rozwiązaniami są właśnie belki układu przesuwne o zmiennej długości, wyposażone w wymienne łączniki pośrednie.

6.1.2.4. Korekty postaci konstrukcyjnej łączników pośrednich układu przesuwne

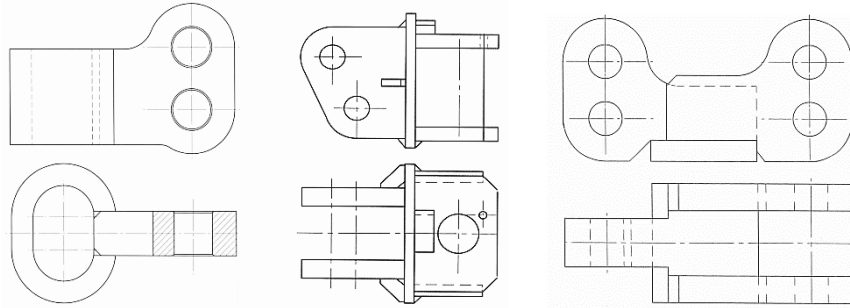
Łączniki pośrednie, będące częścią układu przesuwne i ewolucja ich postaci konstrukcyjnej, wymagają osobnego omówienia, ze względu na różnorodność postaci konstrukcyjnej oraz przyczyny ich stosowania. Zjawisko niemalże powszechnego stosowania łączników pośrednich może uzmysłowić fakt odnotowania zaledwie kilku przypadków bezpośredniego połączenia układu przesuwne sekcji obudowy z rynną przenośnika ścianowego, w okresie 13 lat opracowywania opinii rzeczoznawcy [61]. Stosowanie łączników pośrednich najczęściej było wynikiem wniosków wyciąganych z analiz prowadzonych w ramach opracowywania opinii rzeczoznawcy. Zastosowanie ich umożliwiało poprawę współpracy różnych typów sekcji w jednej ścianie lub umożliwiało współpracę z konkretnym przenośnikiem ścianowym.

Z uwagi na podstawowy cel stosowania można wyróżnić dwie zasadnicze grupy łączników pośrednich:

- łączniki dostosowujące końcówkę belki układu przesuwne do sposobu połączenia z rynną przenośnika ścianowego,

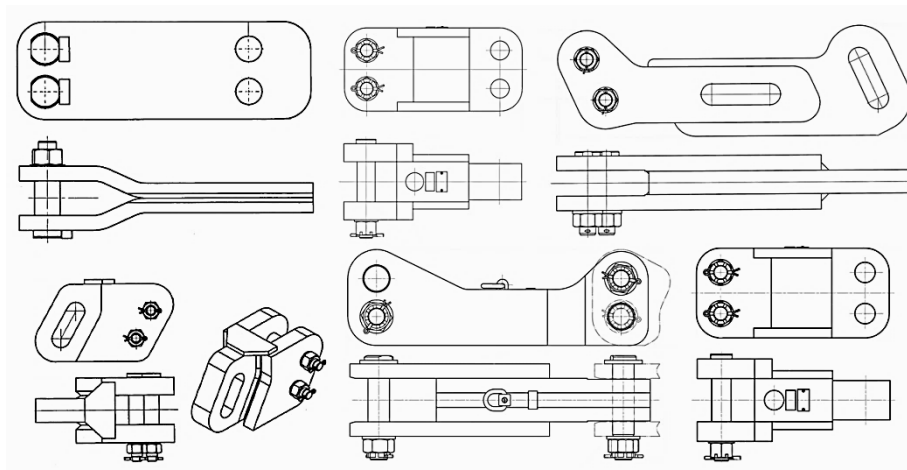
- łączniki zmieniające długość belki układu przesuwne.

Zastosowanie łączników w belkach układu przesuwne zilustrowano na rysunkach 6.12 ÷ 6.14. Przykładowe konstrukcje łączników przedstawiono na rysunku 6.16.



Rys. 6.16. Łączniki pośrednie dostosowujące końcówkę belki układu przesuwne do sposobu połączenia z rynną przenośnika ścianowego [104]

Łączniki zmieniające długość układu przesuwne odznaczają się dużą różnorodnością postaci konstrukcyjnej. Dobierane są one w zależności od typu sekcji obudowy i typu współpracującego z nią przenośnika ścianowego, umożliwiając dostosowanie ustawienia sekcji obudowy względem czoła ściany. Łączniki takie stosuje się również w celu wyeliminowania zjawiska utraty kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych podczas przesuwania sekcji obudowy w ścianie. Dobiera się je indywidualnie dla jednej lub kilku sekcji obudowy, gdy wymagana jest stopniowa zmiana ustawienia kilku sąsiednich sekcji. Łączniki pośrednie stosuje się także w celu odsunięcia sekcji obudowy od czoła ściany, w przypadku możliwej kolizji organu urabiającego ze stropnicą (zbyt mała odległość stropnicy od czoła ściany). Różnorodne postacie konstrukcyjne łączników pośrednich, zależne od konstrukcji belki układu przesuwne i sposobu łączenia z rynną przenośnika ścianowego, przedstawiono na rysunku 6.17.



Rys. 6.17. Łączniki pośrednie zmieniające długość belki układu przesuwnego (przykłady) [104]

Łączniki pośrednie są powszechnie stosowane i stanowią element sekcji obudowy zmechanizowanej, którego postać konstrukcyjna zmienia się najczęściej. Zastosowanie danej sekcji obudowy w kolejnej ścianie, związane ze zmianą konfiguracji jej wyposażenia, często pociąga za sobą konieczność wykonania nowych łączników pośrednich, a ich postać i długość jest zwykle dobierana indywidualnie w wyniku opracowywanej opinii rzeczoznawcy.

6.1.3. Wpływ opinii dotyczącej współpracy różnych typów sekcji obudowy zmechanizowanej w jednej ścianie na bezpieczeństwo procesowe w wyrobisku ścianowym

Opinie rzeczoznawcy w sprawie współpracy różnych typów sekcji obudowy zmechanizowanej w jednej ścianie, opracowywane od 2002 roku w ITG KOMAG [88], przyczyniły się do modyfikacji postaci konstrukcyjnej niektórych zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej, a w szczególności belek układu przesuwnego. Problemy ujawniane w wyniku opracowywania opinii, a zwłaszcza utrata kontaktu osłon bocznych osłon odzawałowych sąsiednich sekcji, występująca podczas ich przesuwania oraz zbyt duża lub zbyt mała odległość stropnicy sekcji od czoła ściany, wpłynęły na wdrożenie belek układu przesuwnego o regulowanej długości. Opinie rzeczoznawcy miały również poważny wpływ na postać konstrukcyjną łączników pośrednich układu przesuwnego. Stosowanie regulowanej długości belki układu przesuwnego praktycznie wyeliminowało konieczność korekty kształtu osłon bocznych osłon odzawałowych w celu doszczelnienia sekcji obudowy od strony zawалу w ścianie.

Wnioski i spostrzeżenia wynikające z badań realizowanych przez rzeczoznawców do spraw ruchu zakładu górniczego w zakresie obudów zmechanizowanych wywarły duży wpływ na postać konstrukcyjną nowo projektowanych elementów sekcji oraz przyczyniły się do poprawy bezpieczeństwa użytkowania sekcji obudowy. Bez przeprowadzenia szczegółowych analiz na etapie projektowania wyposażenia technicznego ściany, praktycznie nie jest możliwe ujawnienie niekorzystnych zjawisk spowodowanych zastosowaniem różnych typów sekcji w tej samej ścianie, które mogą skutkować awariami, a nawet zagrożeniem bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego. Ewentualne odstępianie od wymogu uzyskania pozytywnej opinii rzeczoznawcy, przed zastosowaniem w jednej ścianie różnych typów sekcji obudowy zmechanizowanej, może doprowadzić do ujawniania tych problemów dopiero podczas eksploatacji ściany. Opinie rzeczoznawcy służą więc ujawnieniu i wyeliminowaniu problemów jeszcze przed uzbrojeniem ściany. Należy również podkreślić, że nawet zastosowanie jednego typu sekcji obudowy w ścianie nie do końca eliminuje wszystkie opisane powyżej problemy techniczne. W każdej ścianie występują różne strefy charakteryzujące się odmiennymi warunkami współpracy urządzeń kompleksu ścianowego (strefy napędów przenośnika ścianowego, strefy skrzyżowań). Jeżeli w jednej ścianie stosowane są liniowe i skrajne sekcje obudowy zmechanizowanej tego samego typu, to odmienność ich postaci konstrukcyjnej i cech geometrycznych sprawia, że należy również w tym przypadku szczegółowo przeanalizować wzajemną współpracę tych sekcji oraz ich interakcję z pozostałymi maszynami kompleksu ścianowego. Kwestie doboru tych sekcji do warunków geologiczno-górnich również wymagają odrębnego rozpatrzenia.

Opinie opracowywane przez rzeczoznawców do spraw ruchu zakładu górniczego w zakresie obudów zmechanizowanych, miały również znaczący wpływ na rozwój postaci konstrukcyjnej sekcji, przedstawiony szczegółowo w rozdziale 2 niniejszej monografii.

6.2. Charakterystyka niezawodności sekcji obudowy zmechanizowanej w świetle ocen jej stanu technicznego

6.2.1. Podstawy formalne metod pozyskiwania informacji o uszkodzeniach zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej

Od kwietnia 1993 roku użytkownicy sekcji obudowy zmechanizowanej zobowiązani są do prowadzenia w trakcie jej użytkowania oceny stanu technicznego sekcji. Ocenę taką przeprowadza się po zakończeniu eksploatacji ściany i przed zabudową sekcji obudowy w kolejnej ścianie i na jej podstawie określa się przydatność sekcji do dalszego użytkowania oraz ustala zakres działań koniecznych do usunięcia ewentualnych uszkodzeń elementów sekcji i przywrócenia im pełnej sprawności. Obowiązek przeprowadzania oceny stanu technicznego użytkowanych sekcji obudowy zmechanizowanej został nałożony na użytkownika obudowy zmechanizowanej w dokumencie wydanym w 1993 roku przez Ministra Przemysłu i Handlu, określającym sposób przeprowadzania takiej oceny [133]. Był to pierwszy dokument traktujący o ocenie przydatności sekcji obudowy do dalszego użytkowania. Wytyczne w nim zawarte zostały nieznacznie zmodyfikowane już w 1994 roku. Określono zasady postępowania w procesie oceny stanu technicznego (wtedy proces nazywano oceną stopnia zużycia), lecz nie sprecyzowano, kto taki proces ma przeprowadzić. Kopalnie same dokonywały oceny, często wspomagając się wiedzą i doświadczeniem jednostek zewnętrznych, znających zasady budowy, działania i współpracy sekcji obudowy z górotworem.

W 2002 roku ukazało się Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [130]. W rozporządzeniu wprowadzono drobne korekty w procedurach oceny stanu sekcji obudowy oraz narzucono częściowy wymóg uczestnictwa w ocenie przedstawicieli producenta i jednostki atestacyjnej lub badawczo rozwojowej (tylko w badaniu technicznym). Procedurę oceny rozszerzono o sprawdzanie ciśnienia otwarcia i zamknięcia bloków zaworowych i zaworów upustowych. W nowelizacji tego rozporządzenia [131] wprowadzono pojęcie komisji przeprowadzającej ocenę stanu technicznego sekcji obudowy oraz wymóg uczestnictwa w tej komisji przedstawicieli producenta oraz jednostki upoważnionej do przeprowadzania badań i oceny wyrobów, określonej w przepisach w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych. Zawory ograniczające ciśnienie nakazano kontrolować w akredytowanym laboratorium badawczym. W kolejnej, ostatniej już

nowelizacji rozporządzenia [132], wprowadzono zmiany w procedurach oceny, pozostawiając ważne decyzje w gestii komisji przeprowadzającej ocenę. Zrezygnowano z trudnej do jednoznacznego zrealizowania i udokumentowania oceny formalnej stanu technicznego sekcji metodą obliczeniową.

Tryb postępowania uzależniono od liczby lat, które upłynęły od wyprodukowania sekcji. Zrezygnowano z określania kryteriów dla pomiarów dokonywanych w ramach badania technicznego sekcji. Przedstawiciela jednostki upoważnionej do przeprowadzania badań i oceny wyrobów, wskazanej w przepisach w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych, zastąpiono przedstawicielem jednostki notyfikowanej w zakresie obudów zmechanizowanych.

Instytut Techniki Górniczej KOMAG bierze udział w pracach związanych z oceną stanu technicznego sekcji, użytkowanych w polskich kopalniach, od momentu wprowadzenia pierwszych przepisów dotyczących oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej, w trakcie jej użytkowania. Początkowo przedstawiciele KOMAG-u byli zapraszani do udziału w ocenie z racji posiadania niezbędnej i powszechnie cenionej wiedzy i doświadczenia, a ponadto KOMAG dysponował niezbędnymi uprawnieniami wymaganymi w okresie obowiązywania Rozporządzeń Ministra Gospodarki [108, 109, 130]. Dzięki uczestnictwu w pracach komisji przeprowadzającej ocenę stanu technicznego sekcji obudowy, pracownicy KOMAG-u nabywali jeszcze większego doświadczenia w tym zakresie oraz zdobywali bezcenną wiedzę na temat różnorodności stosowanych rozwiązań technicznych sekcji oraz trwałości poszczególnych jej zespołów.

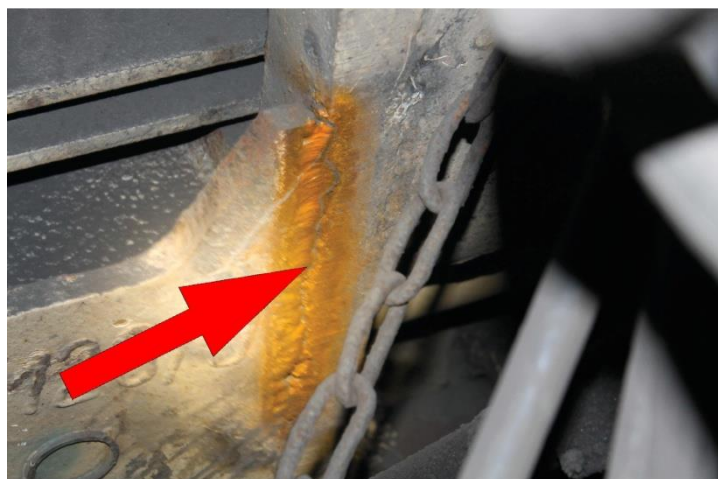
Podstawowym etapem oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej jest przegląd techniczny, przeprowadzany dla wszystkich sekcji obudowy, po zakończeniu eksploatacji jednej ściany, a przed ich zastosowaniem w kolejnej ścianie. Przegląd techniczny umożliwia zidentyfikowanie zdecydowanej większości uszkodzeń poszczególnych zespołów sekcji obudowy. Podczas przeglądu sprawdza się głównie zespoły podstawowe sekcji, do których należą zespoły konstrukcyjne i hydrauliczne decydujące o podporności sekcji. We wszystkich ocenach stanu technicznego sekcji obudowy, znanych autorom niniejszej monografii, przeglądem technicznym obejmowano również wszystkie pozostałe siłowniki sekcji, elementy sterowania hydraulicznego oraz przewody hydrauliczne.

Przegląd techniczny poprzedzony jest zawsze analizą raportu zawierającego wyniki kontroli codziennych i miesięcznych sekcji obudowy przeprowadzanych

obowiązkowo oraz informacje o dotychczasowym przebiegu użytkowania poszczególnych sekcji obudowy, przeprowadzonych remontach i modernizacjach podczas ich użytkowania. Raport ten jest źródłem wiedzy o liczbie zespołów sekcji, które zostały wymienione lub naprawione w trakcie eksploatacji danej ściany. Zbiór informacji, zawartych w wyżej wymienionych raportach i sprawozdaniach z etapów oceny stanu technicznego sekcji, został wykorzystany do porównania wskaźników uszkodzeń zidentyfikowanych w trakcie eksploatacji ściany i wykrytych w procedurze przerzutu sekcji obudowy do kolejnej ściany.

6.2.2. Niezawodność zespołów sekcji o konstrukcji spawanej

Do podstawowych zespołów sekcji o konstrukcji spawanej, decydujących o podporności sekcji obudowy zmechanizowanej należą: stropnica, spąglica, osłona odzawałowa i łączniki lemniskatowe (wskazano zespoły dla sekcji obudowy podporowo-osłonowej). W przypadku wspólnie projektowanych i produkowanych sekcji obudowy są to zespoły praktycznie bezawaryjne. Jakkolwiek zdarzają się, przypadki uszkodzeń różnych węzłów sekcji obudowy, np. uszkodzenie uch przyłączeniowych podpory stropnicy czy lokalne pęknięcia spoin, to mają one charakter incydentalny i z reguły wynikają z błędu konstrukcyjnego lub technologicznego. Są one w pierwszym okresie użytkowania sekcji usuwane przez producentów. W przypadku sekcji starszych, a są użytkowane jeszcze sekcje wyprodukowane ponad 30 lat temu, zdarzają się uszkodzenia wynikające z długiego okresu użytkowania, np.: pęknięcia spoin (rys. 6.18), pęknięcia uch (rys. 6.19) lub znaczne deformacje połączone z rozerwaniem spoin łączących blachy elementu (rys. 6.20).



Rys. 6.18. Pęknięta spoina osłony odzawałowej [105]



Rys. 6.19. Pęknięte ucho połączenia przegubowego [105]

Uszkodzenia spoin i uch są przeważnie wykrywane w procesie oceny stanu technicznego sekcji obudowy po zakończeniu eksploatacji kolejnych ścian.



Rys. 6.20. Rozerwana i odkształcona spąglica [105]

W przypadku sekcji wyprodukowanych przed ponad 20 laty, ocena ich stanu technicznego wymaga także przeprowadzenia badań laboratoryjnych sekcji. Metodyka tych badań, stosowana w akredytowanym Laboratorium Badań w ITG KOMAG, obejmuje między innymi próby:

- obciążenia zespołów sekcji rozpartej w sztywnej ramie stanowiska wskutek wytworzenia w przestrzeni roboczej stojaków, ciśnienia o wartości o 20% większej od ciśnienia roboczego,

- obciążenia cyklicznego zespołów sekcji rozpartej w sztywnej ramie stanowiska wskutek wytworzenia w przestrzeni roboczej stojaków, ciśnienia o wartości w zakresie 25% do 105% ciśnienia roboczego,
- próby zsuwu sekcji obudowy, spowodowanego przemieszczaniem stropu stanowiska aż do otwarcia zaworów przelewowych stojaków i zmniejszenia wysokości sekcji.

Pomimo tak wnikliwego testowania właściwości wytrzymałościowych sekcji, w trakcie badań laboratoryjnych jedynie sporadycznie ujawniane są pęknięcia lub deformacje elementów sekcji (rys. 6.21). W tym wypadku uszkodzone sekcje nie są dopuszczane do dalszej pracy w ścianie, natomiast wnioski z oceny stanu technicznego zawierają wymóg szczegółowej obserwacji dalszej pracy sekcji wyprodukowanych w tym samym czasie co sekcje wycofane z użytkowania po badaniach laboratoryjnych.



Rys. 6.21. Stropnica sekcji, zdeformowana podczas badań w laboratorium [105]

Przypadki uszkodzeń zespołów konstrukcji spawanej występują bardzo rzadko i z tego powodu trudno przeprowadzić ocenę ich niezawodności [16]. Średni współczynnik wymiany elementów, definiowany, jako iloraz liczby wymienionych elementów do liczby elementów poddanych ocenie stanu technicznego, osiąga poziom 0,0017 [17]. Wynika stąd, że średnio 0,17% zespołów konstrukcji spawanej sekcji należy wymienić z powodu uszkodzeń powstałych w trakcie ich użytkowania (ujawnionych w procesie oceny stanu technicznego). Wiadomo, że dotyczy to przede wszystkim sekcji starych, i to niezależnie od remontów i modernizacji przeprowadzanych w okresie, który upłynął od czasu ich wyprodukowania [16].

6.2.3. Niezawodność zespołów hydrauliki siłowej

W celu określenia niezawodności zespołów hydrauliki siłowej przeanalizowano dane dotyczące uszkodzeń tych zespołów, uzyskane w procedurze oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej, w latach 2013-2015. Należy zaznaczyć, że przedstawiciele ITG KOMAG uczestniczyli w pracach wszystkich 325 komisji oceniających stan techniczny sekcji obudowy po zakończeniu eksploatacji danej ściany i przed ich zastosowaniem w kolejnej ścianie, powołanych w latach 2013-2015. Komisje oceniły w tym okresie stan techniczny 38 123 sekcji obudowy zmechanizowanej. Ocenę stanu technicznego niektórych spośród wyżej wymienionych sekcji przeprowadzano kilkakrotnie, ze względu na ich zastosowanie w kilku kolejno uruchamianych ścianach. W omawianym okresie dokonano oceny stanu technicznego łącznie 357 507 stojaków i innych siłowników hydraulicznych (z wyżej przedstawionych powodów niektóre kilkakrotnie poddawano ocenie).

Zespoły hydrauliki siłowej zastosowane w sekcji obudowy zmechanizowanej można podzielić na dwie grupy:

- zespoły hydrauliczne istotne dla uzyskania podporności sekcji,
- siłowniki pomocnicze.

Zespoły hydrauliczne, decydujące o podporności sekcji obudowy i właściwej współpracy sekcji z górotworem, to przede wszystkim stojaki hydrauliczne i podpory stropnicy. Ocenie stanu technicznego poddano w omawianym okresie kilka typów stojaków różniących się budową. Wśród stojaków hydraulicznych najczęściej są stosowane stojaki dwustopniowe (około 77,2% ogólnej liczby sprawdzanych stojaków), w większości z zaworem zwrotnym międzystopniowym i multiplikacją ciśnienia w drugim stopniu (około 71,6% ogólnej liczby sprawdzanych stojaków). Stojaki o takiej budowie są stosowane przeważnie w niedawno wyprodukowanych sekcjach obudowy poddanych ocenie stanu technicznego. Pozostałe stojaki dwustopniowe to stojaki bez zaworu międzystopniowego (5,5%) oraz dwustopniowe z zaworem międzystopniowym i przedłużaczem mechanicznym (0,4%). Stojak dwustopniowy z zaworem zwrotnym międzystopniowym nie stwarza problemów wykonawczych, a umożliwia uzyskanie większego zakresu zmiany długości niż stojak jednostopniowy. Technologicznie trudniejszy do wykonania jest stojak dwustopniowy bez zaworu zwrotnego między stopniami. Stojak ten posiada dodatkowy tłok, dzięki czemu, pomimo braku multiplikacji ciśnienia, podporność obu stopni jest w przybliżeniu taka sama. Najmniej liczne są stojaki dwustopniowe z przedłużaczem

mechanicznym. W polskich kopalniach w takie stojaki są wyposażone sekcje obudowy tylko jednego kompletu ścianowego.

Wszystkie opisane odmiany stojaków dwustopniowych w zbliżonym stopniu ulegają awariom. Główne powody uznania stojaka za niesprawny to: uszkodzona gładź rdzennika i nieuszczelnność węzłów uszczelniających, najczęściej spowodowana uszkodzeniem pierścieni uszczelniających współpracujących z wcześniej uszkodzoną powierzchnią rdzennika. Nieznacznie mniejszą awaryjność pod tym względem wykazują stojaki jedno-stopniowe (około 22,8% ogólnej liczby sprawdzanych stojaków), stosowane głównie w starszych sekcjach obudowy. Wynika to z mniejszej powierzchni rdzennika narażonej na uszkodzenia. Wśród stojaków jedno-stopniowych najwięcej jest takich z przedłużaczem mechanicznym (około 20,9% ogólnej liczby sprawdzanych stojaków), znacznie mniej stojaków bez przedłużacza (około 1,3% ogólnej liczby sprawdzanych stojaków) i bardzo mało stojaków z przedłużaczem hydraulicznym (około 0,6% ogólnej liczby sprawdzanych stojaków).

Niestety stojaki z przedłużaczem mechanicznym nie powinny być stosowane w sekcjach obudowy użytkowanych w pokładach zagrożonych tąpnięciami. W normalnych warunkach stosowania sekcji obudowy, z powodu konwergencji stropu wyrobiska wywołanej naciskiem górotworu, stojaki w poszczególnych sekcjach obudowy stopniowo zmniejszają swoją długość. Jeżeli załoga nie koryguje ustawienia przedłużacza mechanicznego może dojść do całkowitego wsunięcia rdzennika stojaka i pracy stojaka bez cieczy pod tłokiem. Dalsze zwiększanie obciążenia sekcji, lub wystąpienie obciążenia dynamicznego, może doprowadzić do złamania stojaka (najczęściej złamania przedłużacza mechanicznego (rys. 6.22)).



Rys. 6.22. Złamany przedłużacz mechaniczny stojaka [105]

Ze względu na brak szczegółowych informacji o ujawnionych uszkodzeniach poszczególnych rodzajów stojaków, na podstawie zgromadzonych sprawozdań [105] można jedynie stwierdzić, że w przeprowadzonych ocenach stanu

technicznego przeglądowni poddano 79 070 stojaków hydraulicznych stwierdzając uszkodzenia 8 806 stojaków, co stanowi 11,137% całkowitej liczby stojaków poddanych ocenie.

Drugim zespołem wpływającym na podporność sekcji obudowy zmechanizowanej jest podpora stropnicy, czyli siłownik montowany pomiędzy stropnicą a osłoną odzawałową. W grupie podpór stropnicy użytkowanych obecnie nie można wyróżnić wariantów tego siłownika o budowie istotnie różniącej się od pozostałych podpór stropnicy. W omawianym okresie przeglądowni poddano 39 352 podpory stropnicy ujawniając uszkodzenia 4199 podpór, co stanowi 10,67%.

Wszystkie pozostałe siłowniki występujące w sekcji obudowy zmechanizowanej zakwalifikowano jako siłowniki pomocnicze. W omawianym okresie przeglądowni poddano 381 23 przesuwniki sekcji, 123 294 siłowniki korekcyjne osłon bocznych stropnicy i osłony odzawałowej, 29 031 siłowników osłony czoła ściany, 11 390 siłowników osłony przejścia, 18 294 siłowniki korekcji bocznej spągnicy i 18 953 siłowniki podnośnika spągnicy. W tabeli 6.1 zestawiono informacje dotyczące liczby uszkodzeń zespołów hydrauliki siłowej odnotowanych w trakcie oceny stanu technicznego sekcji.

Z analizy dokumentacji dotyczącej użytkowania sekcji obudowy, prowadzonej przez użytkownika wiadomo, że do wymiany elementów i zespołów sekcji obudowy dochodzi nie tylko w wyniku oceny stanu technicznego po wybraniu ściany, ale również podczas eksploatacji ściany. Z doświadczeń zebranych na etapie wstępnego szacowania niezawodności zespołów sekcji obudowy [17] wynika, że z reguły liczba zespołów konstrukcji spawanej wymienianych podczas biegu ściany, stanowi w przybliżeniu połowę liczby tych elementów wymienianych podczas przerzutu sekcji do następnej ściany. W przypadku zespołów hydrauliki siłowej stwierdzono, że podczas biegu ściany wymieniono o 43% mniej tych zespołów, w odniesieniu do liczby zespołów wymienianych podczas przerzutu sekcji do następnej ściany. Należy zauważyć, że liczba stojaków hydraulicznych, podpór stropnicy i przesuwników sekcji wymienianych w trakcie eksploatacji ściany jest zbliżona do liczby tych siłowników wymienianych w wyniku oceny stanu technicznego.

**Zestawienie liczby uszkodzeń siłowników hydraulicznych odnotowanych w wyniku
oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej**

Tabela 6.1.

Rodzaj siłownika	Liczba siłowników		Udział uszkodzeń %
	ocenionych	uszkodzonych	
Stojak	79070	8806	11,137
Podpora stropnicy	39352	4199	10,670
Przesuwnik sekcji	38123	6409	16,811
Siłownik korekcyjny osłony bocznej	123294	11088	8,993
Siłownik osłony czoła ściany	29031	3169	10,916
Siłownik osłony przejścia	11390	626	5,496
Siłownik korekcji bocznej spągnicy	18294	2072	11,326
Siłownik podnośnika spągnicy	18953	1378	7,271
OGÓLEM	357507	37747	10,558

W przypadku siłowników pomocniczych sytuacja jest odwrotna – większość spośród nich jest wymieniana na nowe w wyniku oceny stanu technicznego. Można domniemywać, że stan ten spowodowany jest mniejszym wpływem niesprawności tych siłowników na pogorszenie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego oraz na zmniejszenie wydajności ściany wydobywczej. Wymiana uszkodzonych siłowników pomocniczych w trakcie biegu ściany powoduje natomiast dłuższe przestoje, skutkujące zmniejszeniem wydobywania.

Wykorzystując posiadane wyniki ocen stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej oraz informacje o wymianach zespołów sekcji obudowy w trakcie biegu ściany w ITG KOMAG przeprowadzono pilotowe badania niezawodności sekcji obudowy zmechanizowanej [21]. Podjęto próbę określenia tzw. współczynnika wymian dla zespołów hydrauliki siłowej sekcji i niektórych

zespołów konstrukcyjnych [21], takich jak: osłona czoła ściany, osłona przejścia i osłony boczne stropnicy.

Obiektem badań pilotowych były sekcje obudowy zmechanizowanej o porównywalnej postaci konstrukcyjnej, wyprodukowane po 2005 roku przez jednego producenta. Jakkolwiek obiekt omawianych badań różnił się, zarówno w odniesieniu do czasu badań, jak również w odniesieniu do rodzajów sekcji, od obiektu badań, których wyniki zestawiono w tabeli 6.1, to procentowe udziały uszkodzonych elementów hydrauliki siłowej uzyskane w obu badaniach są porównywalne. W przypadku pilotowych badań niezawodności sekcji stwierdzono, że awariom powodującym konieczność wymiany elementów ulega średnio 0,25% elementów konstrukcji spawanej i 10,56% zespołów hydrauliki siłowej. Z tych ostatnich najczęściej wymiany wymagają przesuwniki sekcji, gdyż pracują w najgorszych warunkach, nieraz całkowicie zasypane luźnym materiałem skalnym.

Pilotowymi badaniami niezawodności sekcji objęto jedynie przypadki uszkodzeń stojaków i siłowników pomocniczych, gdyż uszkodzenia pozostałych podstawowych elementów sekcji rejestrowano sporadycznie, co uniemożliwia ich wiarygodne opracowanie statystyczne. Materiał statystyczny zawierał dane empiryczne pochodzące: z zapisów serwisowych, raportów kopalnianych, zapisów wymian elementów sekcji, dokonywanych zarówno w trakcie biegu ściany, jak również w trakcie ocen stanu technicznego sekcji.

Analizowane dane dotyczyły wyłącznie przypadków naprawy uszkodzonych elementów sekcji, polegającej na ich wymianie na element sprawny. Tak więc w rozpatrywanym przypadku można pojęcie „wymiana” traktować jako synonim pojęcia „odnowa” sekcji obudowy zmechanizowanej (traktowanej jako system niezawodnościowy), chociaż w teorii niezawodności pojęcie „odnowa” ma ogólniejsze znaczenie niż termin „wymiana”.

Określenie niezawodności sekcji, traktowanej jako system niezawodnościowy, na podstawie zgromadzonych informacji o zdarzeniach eksploatacyjnych jest możliwe po dokonaniu, dekompozycji procesu jej użytkowania. Analizowanie zmian właściwości niezawodnościowych poszczególnych elementów składowych procesu użytkowania sekcji umożliwia, z jednej strony budowę modelu opisującego ten proces z niezawodnościowego punktu widzenia, z drugiej – dostarcza informacji niezbędnych do identyfikacji czynników, wpływających na taki, a nie inny przebieg zmian właściwości obiektu.

Ze względu na dostępność i kompletność danych, pilotowe badania niezawodności sekcji obudowy zmechanizowanej przeprowadzono rozpatrując dekompozycję procesu użytkowania sekcji na poziomie elementów sekcji: zespołów o konstrukcji spawanej i zespołów hydrauliki siłowej. W tej kategorii sekcja obudowy zmechanizowanej jest systemem złożonym z określonej liczby tak rozumianych elementów. W badaniu pilotującym przeprowadzono orientacyjną estymację wskaźników intensywności uszkodzeń elementów najczęściej ulegających uszkodzeniu.

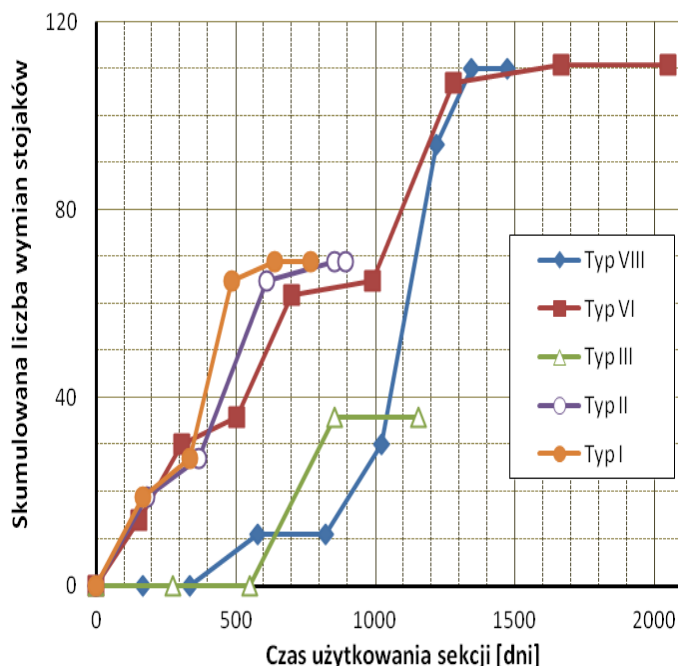
Sekcje obudowy objęte badaniami pilotowymi były użytkowane w wyrobiskach ścianowych prowadzonych w II i III stopniu zagrożenia tapaniami. Szczegółowe wyniki analiz przedstawiono w [21]. Z informacji zestawionych w tabeli 6.2 wynika, że średni czas obserwacji uszkodzeń elementów wynosił 3 lata. W tabeli 6.2 symbolem – *) oznaczono komplet ścianowy, który po zakończeniu eksploatacji pierwszej ściany rozdzielono, zabudowując jego część w dwóch różnych ścianach, pozostawiając resztę sekcji w rezerwie. Pozostałe analizowane komplety obudowy zmechanizowanej niemalże w całości instalowano w kolejnych ścianach.

Przykładowo, na rysunku 6.23 przedstawiono skumulowany wykres liczby wymian stojaków hydraulicznych dla wybranych typów sekcji obudowy zmechanizowanej.

Zestawienie liczby sekcji obudowy zmechanizowanej objętych analizą uszkodzeń i czasu ich użytkowania [20]

Tabela 6.2.

Typ sekcji	Rok produkcji	Liczba sekcji	Czas pracy, dni	Zrealizowany wybieg ściany, m
Typ I	2009	135	769	3261
Typ II	2008	140	891	1242
Typ III *)	2008	115	1155	990
Typ IV	2009	163	1136	1022
Typ V	2005	136	1561	2360
Typ VI	2006	147	2048	1415
Typ VII	2009	160	590	1640
Typ VIII	2006	115	1471	6090



Rys. 6.23. Wykres skumulowanej liczby wymienionych stojaków wybranych typów sekcji obudowy zmechanizowanej [20]

Ze względu na trudne do oszacowania dane odnośnie do czasu pracy elementu pomiędzy kolejnymi wymianami, opracowanie wyników ograniczono do oszacowania średniego wskaźnika wymian rozpatrywanych elementów sekcji, definiowanego jako iloraz liczby wymienionych elementów i czasu użytkowania kompletu obudowy ścianowej. Wyniki estymacji przedstawiono w tabeli 6.3.

W pracy [92] stwierdzono, że określenie parametrów rozkładu uszkodzeń elementów sekcji w poszczególnych ścianach nie jest możliwe na podstawie rozpatrywanego zbioru informacji dotyczących zdarzeń eksploatacyjnych.

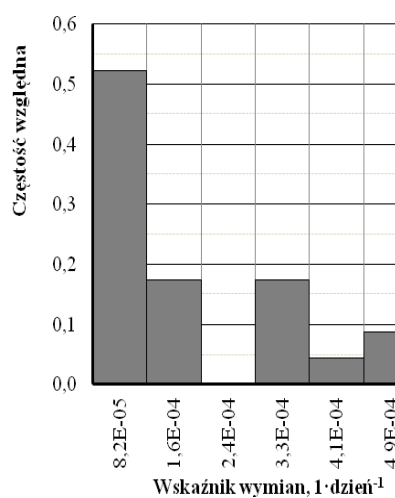
Parametrem charakteryzującym rozkład liczby wymian elementów sekcji, jest również częstość względna wymian. Wyznaczając rozkład wartości wskaźnika wymian danego elementu sekcji w rozpatrywanych ścianach, zbudowano szereg rozdzielczy wartości tego wskaźnika. Ze względu na liczebność zbioru rozpatrywanych danych, przedział zmienności wartości wskaźnika wymian, podzielono na sześć klas. Częstość względną wymian w danej klasie wyznaczono jako iloraz liczby ścian, dla których wartość wskaźnika wymian mieści się w rozpatrywanej klasie oraz całkowitej liczby rozpatrywanych ścian [21].

Średni wskaźnik wymian rozpatrywanych elementów sekcji [20]

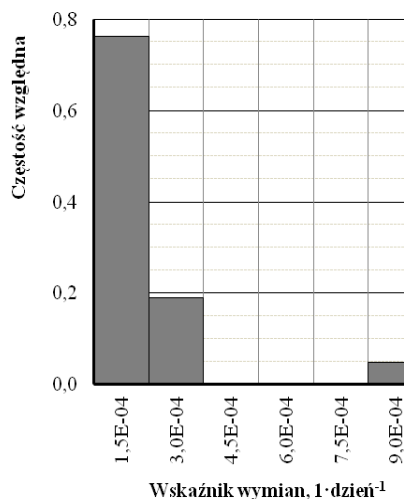
Tabela 6.3.

Nr	Nazwa elementu	Średni wskaźnik wymian, 1·dzień ⁻¹
1	Stojak hydrauliczny	1,22E-04
2	Podpora stropnicy	5,55E-05
3	Przesuwnik sekcji	9,83E-05
4	Siłownik stropnicy wysuwnej	6,05E-06
5	Siłownik osłony czoła ściany	3,05E-05
6	Siłownik korekcji osłon bocznych	7,60E-06
7	Siłownik podnoszenia spągnic	1,85E-05
8	Siłownik korekcji spągnic	1,76E-06
9	Oslona czoła ściany	2,24E-05
10	Oslona przejścia	7,79E-06
11	Oslona boczna stropnicy	3,76E-05
12	Komplet przewodów hydraulicznych	2,01E-02

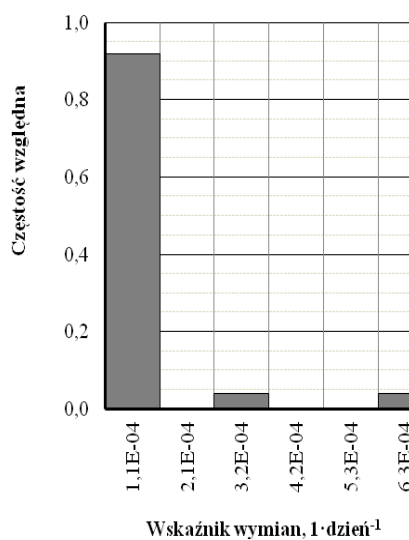
Przykładowo, na rysunkach 6.24 ÷ 6.26 przedstawiono wykresy częstości względnej liczby wymian wybranych zespołów hydrauliki siłowej.



Rys. 6.24. Częstość względna wymian stojaków hydraulicznych [20]



Rys. 6.25. Częstość względna wymian podpór stropnicy [20]



Rys. 6.26. Częstość względna wymian siłowników stropnicy wysuwnej [20]

Na podstawie wykresów częstości względnej wymian elementów sekcji można sformułować hipotezę statystyczną, głoszącą, że analizowaną zmienną losową będzie dobrze charakteryzował rozkład wykładniczy. Potwierdzenie słuszności powyższej hipotezy, jak również precyzyjniejsze oszacowanie wskaźników niezawodności sekcji, będzie możliwe po zebraniu większej liczby wiarygodnych danych dotyczących jej zdarzeń eksploatacyjnych.

Zadanie to można będzie zrealizować za pomocą automatycznego systemu rejestracji zdarzeń eksploatacyjnych, który zintegrowany z książką sekcji obudowy zmechanizowanej i systemami komputerowej ewidencji elementów maszyn, zapewni jednorodność i kompletność zgromadzonych informacji. Aktualnie w ITG KOMAG testowane są niektóre elementy tego systemu.

7. Podsumowanie

Spośród czynników stymulujących rozwój postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej, omówionych w poprzednich rozdziałach, najistotniejsze znaczenie ma zapewnienie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego w wyrobisku ścianowym. W związku z tym podstawowymi czynnikami decydującymi o parametrach sekcji oraz o cechach geometrycznych jej zespołów są czynniki geologiczno-górnice.

Z biegiem lat widoczny jest znaczący rozwój stosowanych metod doboru parametrów technicznych sekcji do warunków geologiczno-górnich panujących w wyrobisku, spowodowany szerokim wykorzystaniem wyników najnowszych prac badawczych. Jeżeli charakterystyczną cechą metod doboru, stosowanych w latach 70-tych ubiegłego wieku była znacząca liczba współczynników, których wartość ustalano szacunkowo, to prace badawcze umożliwiły zastąpienie coraz większej liczby tych współczynników ściśle uzasadnionymi zależnościami stosowanymi do oceny doboru parametrów technicznych sekcji warunków panujących w wyrobisku.

Drugim istotnym czynnikiem są wymagania funkcjonalne określone przez użytkowników sekcji obudowy zmechanizowanej. Konieczność spełnienia wymagań w tym zakresie stymulowała rozwój postaci konstrukcyjnej poszczególnych zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej. W niniejszej monografii z jednej strony zilustrowano proces zmian postaci konstrukcyjnej sekcji i jej zespołów, prowadzący do zaprojektowania współcześnie produkowanych sekcji obudowy zmechanizowanej. Z drugiej strony zwrócono uwagę na rozwiązania konstrukcyjne obecnie nie stosowane, które w przyszłości mogą zostać twórczo przystosowane do realizacji nowych funkcji.

Cennym źródłem informacji dotyczących weryfikacji przyjmowanych założeń projektowych, zwłaszcza dotyczących cech funkcjonalnych sekcji są obserwacje prowadzone w trakcie użytkowania ścianowej obudowy zmechanizowanej. W szczególności wnioski wynikające z ocen stanu technicznego sekcji, przeprowadzanych przez komisje powoływane przez Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego, w których skład wchodził pracownicy ITG KOMAG, stanowiły cenną inspirację do zmian postaci konstrukcyjnej zespołów sekcji. Opinie opracowywane przez rzeczoznawców ds. ruchu zakładu górniczego w grupie XI – obudowy zmechanizowane, połączone z danymi dotyczącymi bieżącego użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej umożliwiają ponadto wieloaspektową ocenę stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, zwłaszcza pod kątem awaryjności poszczególnych zespołów.

Celem badań prowadzonych w tym zakresie jest, oprócz doskonalenia zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej, określenie wskaźników niezawodnościowych sekcji, a w dalszej perspektywie kompleksu ścianowego.

Jak już zaznaczono na wstępie czynniki omawiane w niniejszej, pierwszej części monografii mają istotny wpływ na bezpieczeństwo procesowe i stanowiskowe w wyrobisku ścianowym. Z tego względu muszą znaleźć odzwierciedlenie w wymaganiach bezpieczeństwa formułowanych w obowiązujących przepisach. Szeroko rozumiana problematyka sprawdzania wymagań bezpieczeństwa będzie przedmiotem drugiej części niniejszej monografii. Wymagania bezpieczeństwa sprawdzane są na etapie projektowania głównie poprzez stosowanie metod analitycznych określania wyężenia projektowanych elementów sekcji. Druga część monografii poświęcona będzie przedstawieniu różnych stosowanych modeli obciążenia elementów sekcji i założeń upraszczających przyjmowanych w stosowanych procedurach obliczeniowych.

Odrębnie omówione zostanie zagadnienie projektowania sekcji obudowy zmechanizowanej przeznaczonej do stosowania w warunkach dynamicznego oddziaływania górotworu. Zaprezentowane zostaną stosowane modele obliczeniowe oraz metody i badania służące do oceny upodatkowania sekcji.

Równolegle z metodami analitycznymi sprawdzanie wymagań bezpieczeństwa przeprowadzane jest doświadczalnie na specjalnych stanowiskach badawczych. Stosowane metodyki badawcze będą również omówione w drugiej części monografii.

Proces kształtowania postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej jest bardzo złożony. Dlatego celowe wydaje się omówienie w jednym opracowaniu zagadnienia wpływu różnorodnych czynników na postać konstrukcyjną i parametry techniczne sekcji obudowy zmechanizowanej. Zdając sobie jednak sprawę z niezamierzonych niedociągnięć wykonanej pracy, autorzy monografii z góry wyrażają wdzięczność Czytelnikom za przekazane uwagi, sugestie i uzupełnienia.

Literatura

1. Aleksandrov B.A.: Issledovanije vzaimidejstvija osnovanija mekhanizirovannoj krepj s pochvoj. Kamerovo, Trudy KUZPI nr 38, 1971, s. 24-29.
2. Anthrazit Ibbenbüren GmbH Streb 7/8 Ostern Flöz 74: Ocena ofert na zakup obudowy RAG 2010, (materiały niepublikowane).
3. Barczak T.M., Tadolini S.C. Longwall shield and standing gateroad support designs – is bigger better? Procc. of Longwall USA, Pittsburgh, Pensylwania, 2006 June 5-7.
4. Biliński A.: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej w pokładach węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 31, Gliwice 1968.
5. Biliński A.: Tąpania w świetle mechaniki górotworu odprężonego. Kwartalnik AGH Górnictwo, z.2, 1985, s.105-132.
6. Biliński A.: Wpływ czynników naturalnych i technicznych na stan utrzymania stropu w ścianach z podszadką hydrauliczną. Prace Naukowe GIG, nr 778, Katowice 1993.
7. Biliński A.: Metoda doboru obudowy ścianowych wyrobisk wybierkowych i chodnikowych do warunków pola eksploatacyjnego. Prace naukowe – Monografie CMG KOMAG z.11, Gliwice 2005
8. Biliński A., Kostyk T.: Wpływ podporności obudowy na ruchy górotworu w chodnikach przyścianowych przy eksploatacji na zawal. Prace Naukowe GIG, nr 773, Katowice 1992.
9. Biliński A., Kostyk T.: Wpływ czynników naturalnych i technicznych na stan utrzymania stropu wyrobiska ścianowego. Prace Naukowe GIG, nr 779, Katowice 1993.
10. Borecki M., Dabiński Z.: Obudowa zmechanizowana wyrobisk ścianowych. Wydaw. Śląsk, Katowice 1970.
11. Brady B.H., Brown E.T.: Rock mechanics for underground mining. - 3rd ed., Springer, 2006.
12. Broncel P., Hylla R.: Nowoczesne technologie wykonywania konstrukcji urządzeń górniczych w Fabryce Maszyn i Urządzeń TAGOR SA. W: Materiały na konferencję: Sympozjum "Maszyny i urządzenia dla przemysłu wydobywczego", 31.05-2.06.2006 s. 47-50.

13. Bukowiecki B., Kościelny A., Mądry M.: Analiza porównawcza cech konstrukcyjnych stropnic sekcji obudowy zmechanizowanej. *Maszyny Górnicze* 2014 nr 4 s. 15-21.
14. Bukowiecki B., Szweda S.: Analiza ograniczeń nakładanych na cechy geometryczne nowoczesnych sekcji obudowy zmechanizowanej. W: *Polski Kongres Górniczy 2010. Materiały Konferencyjne Kongresu Górnictwa Podziemnego*, Gliwice, 9-10 września 2010. T. 2: *Górnictwo podziemne*. Gliwice, Katedra Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, s. 215-224.
15. Carranza-Torres C., Fairhurst C.: Application of the convergence-confinement method of tunnel design to rock mass that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. *Tunn. Undergr. Space Technol.* Vol. 15(2), 2016, s. 187-213
16. Chlebek D., Gerlich J.: Analiza wyników oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej w wybranych kopalniach. *Maszyny Górnicze* 2013, nr 1, s. 22-26.
17. Chlebek D. i in.: Porównanie oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej z wynikami kontroli codziennych i miesięcznych. *Wiadomości Górnicze* 2015 nr 6 s. 306-312.
18. Chudek M.: *Geomechanika z podstawami zarządzania ochrona środowiska górniczego i powierzchni terenu*. Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice. 2002.
19. Chudek M., Pach A.: *Obudowa wyrobisk eksploatacyjnych w kopalniach węgla kamiennego. Cz. 1: Obudowy współpracujące z górotworem w warunkach obciążeń statycznych*. Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
20. Cieślak Z. i in.: *Baza danych dla opracowania książki serwisowej ścianowej obudowy zmechanizowanej. Etap 1. i 2. ITG KOMAG*. Gliwice 2011 (praca niepublikowana).
21. Czaplicki J.M., Szweda S., Szyguła M.: Badania pilotujące niezawodności sekcji obudowy zmechanizowanej. *Przegląd Górniczy* 2013 nr 7 s. 46-51.
22. Domański-Żdziebło J., Ślusarz R., Kret A.: Nowoczesne obudowy zmechanizowane na przykładzie obudów ZMG GLINIK Sp. z o.o. *Maszyny Górnicze* 2001, nr 1, s. 14-21.

23. Fokin B.P., Gricajuk B.I., Zel'cev Ju. G.: Sovershenstvovanie mekhanizirovannykh kriepiej dla raboty na slabych pochvakh. Ugol nr 9, 1980, s. 58-60.
24. Galvin J.M.: Ground Engineering. Principles and Practices of Underground Coal Mining. Springer International Publishing 2016.
25. Gil J., Kubiesa R., Stoiński K.: Kryteria projektowe dla zmechanizowanych obudów ścianowych według procedur zakładowych KW ZRP. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, KOMTECH 2014, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014 s. 339-345.
26. Gil J., Stoiński K.: Bezpieczeństwo zmechanizowanych obudów w systemach ścianowych. Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2013 s. 149-161.
27. Gricajuk B. I.: O wzaimodejstvii dvustoechnoj ograditel'no poddierzhivajushhej mekhanizirovannoj krepj z pochvoj, Ugol nr 1, 1979, s. 48-52.
28. Irresberger H.: Comparison of Longwall shield, chock and frame supports. Mining Congress Journal, June 1977, s. 68-71.
29. Irresberger H., Gräwe F., Migenda P.: Zmechanizowane obudowy ścianowe. Podręcznik dla praktyków. Tiefenbach Polska Sp. z o.o. Wydaw. II poprawione Katowice 2008.
30. Jackson D.J.: The testing of shield supports. The Mining Engineer. Vol. 138/1979, s. 763-771.
31. Jaszczuk M.: Ścianowe systemy mechanizacyjne. Wydaw. Naukowe Śląsk, Katowice 2007
32. Jaszczuk M. (red. naukowa): System zintegrowanego sterowania układem technologicznym ściana wydobywczego – punkt załadowniczy. Monografia nr 2. Seria: Innowacyjne techniki i technologie mechanizacyjne CMG KOMAG. Gliwice 2008.
33. Jaszczuk M., Markowicz J. (red.): Parametryczna metoda oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
34. Jaszczuk M., i in.: OStO v.2.0. Obliczenia statyczne sekcji obudowy zmechanizowanej. Instrukcja obsługi. FMiU TAGOR S.A. Tarnowskie Góry 2008, (materiały niepublikowane).

35. Jaszczuk M. i in.: Analiza rozkładu nacisku spągu na spągnicę i stropu na stropnicę metodą Jacksona wraz z programem komputerowym. s. 2-4. FMiU TAGOR S..A. Tarnowskie Góry, 2008, (materiały niepublikowane).
36. Jerużański M., Bargieł Z.: Obudowy zmechanizowane w kopalniach Katowickiego Holdingu węglowego SA – nowe podejście. W: Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych. TUR 2009 AGH, Kraków, 2009 s. 266-295.
37. Jiang J.M., Peng S.S., Chen J.S.: DEPOWS – a Powered Support Selection model. Proceedings of 30th U.S. Sym. of Rock Mechanics. A.A. Balkema publisher June 1983, s. 141-148.
38. 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, ITG KOMAG, Gliwice 2010 s. 405-414.
39. Kasperkiewicz W. i in.: Nowoczesne sekcje obudowy zmechanizowanej – ważnym ogniwem współczesnego i przyszłościowego parku maszynowego zakładów górniczych Południowego Koncernu Węglowego SA. W: Materiały na konferencję: III Międzynarodowa Konferencja "Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa podziemnego", Ustroń, 15-17 czerwca 2011 s. 13 nienumerowanych [Dokument elektroniczny].
40. Kent L. i in.: Raport końcowy z projektu Geomechanics and Control of Soft Mine Floors and Sides (GEOSOFT) realizowanego w ramach Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCS) nr RFCS-CT-2010-00001, lata realizacji: 2010 - 2013 (materiały niepublikowane).
41. Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydaw. Śląsk 1982.
42. Klich A., Losiak S., Ptak J.: Konstrukcja i właściwości nowej generacji ścianowej obudowy zmechanizowanej na przykładzie obudowy GLINIK 13/22 – POz. W: Materiały konferencyjne. Szkoła Eksploatacji Podziemnej. Kraków 22-26. lutego 1999, s. 393-412.
43. Kłeczek Z.: Geomechanika górnicza. Śląskie Wydaw. Techniczne, Katowice 1994.
44. Kłusek R., Kwieciński D., Szyguła M.: Zabudowa skrzyżowania ściany z chodnikiem. Rozwiązania CMG KOMAG. Maszyny Górnicze 1997 nr 3 s. 11-17.

45. Konopko W.: Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tapaniami. Prace Naukowe GIG nr 795, Katowice 1994.
46. Korecki Z.: Maszyny i urządzenia górnicze - część II, Wydaw. Śląsk, 1985.
47. Korovkin Ju.A. i in.: Teorija i praktika dljiiolavnykh sistem. OOO Tekhgormash, Moskva 2004.
48. Korzeniowski W., Terpák D., Waloski R.: Zastosowanie systemu ścianowo-podbierkowego w górnictwie węgla kamiennego i lignitu. Przegląd Górniczy 2015 nr 12 s. 6-11.
49. Leksykon Górniczy. Wydaw. Śląsk, Katowice 1989.
50. Losiak S., Ptak J.: Wpływ gruzowiska zawałowego na osłonę odzawałową i zachowanie się sekcji lemniskatowej obudowy ścianowej. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2010, nr 3, s. 35-41
51. Losiak S., Ptak J., Blaschke J.: Zachowanie się sekcji obudowy pod działaniem stropu wyrobiska. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2006 nr 5 s. 5-13.
52. Marianowski J., Kalukiewicz A., Kipczak P.: Wykorzystanie przestrzeni pod tłokiem rdzennika wewnętrznego stojaka teleskopowego do łagodzenia zjawisk gwałtownych osunięć stropu. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, KOMTECH 2014, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014 s. 437-456.
53. Markowicz J.: Wpływ wysokości sekcji obudowy zmechanizowanej na współpracę spągnicy ze spągiem. Prace Naukowe Instytutu Geomechaniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej nr 65, S. Konferencje nr 33/1994, s. 147-153.
54. Markowicz J.: Modelowanie współpracy spągnicy obudowy zmechanizowanej ze spągiem. W: V Krajowa Konferencja Użytkowników Oprogramowania MSC Warszawa – Rynia. Materiały konferencyjne, 2000, s.139 -145.
55. Markowicz J.: Współpraca sekcji obudowy zmechanizowanej podporowo-osłonowej z różnymi rodzajami skał tworzących spąg wyrobiska. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej nr 69, Seria Konferencje nr 36/1995, s. 231-237.

56. Markowicz J.: Analysis of impact of welded joint damages and corrosion in powered roof support components on their operational safety. Archives Of Mining Sciences, Vol. 55, nr 4, 2010, s. 799-826.
57. Markowicz J., Rajwa S., Szweda S.: Experimental tests of parameters characterizing the cooperation of powered roof support base and floor of low bearing capacity. Archives of Mining Sciences 2016 vol. 61 iss. 4 s. 937-948.
58. Markowicz J., Rajwa S., Szweda S.: Modeling of powered roof support cooperation with the floor of low bearing capacity in the aspect of shaping the section design. Archives of Mining Sciences (w druku).
59. Medhurst T.P.: Practical considerations in longwall support behaviour and ground response. Proc. of Coal Conference 26-28 April 2005 Brisbane, QLD 2005.
60. Medhurst T.P., Reed K.: Ground response curves for longwall support assesment. Trans. Inst. Min. Metall. A., Vol. 114 ss 81-88, June 2005.
61. Opinie rzeczoznawcy ds. ruchu zakładu górniczego w grupie XI – obudowy zmechanizowane, wydawane w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w latach 2003-2016. ITG KOMAG (prace niepublikowane).
62. Ober G.: Równania torów punktów prowadzenia dwulemniskatowego obudów zmechanizowanych z uwzględnieniem luzów w parach kinematycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, S. Górnictwo 1993 z. 210, s. 133-149.
63. Ober G.: Analiza ruchu nowych generacji bezlemniskatowych obudów ścianowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2001, nr 3, s. 16-20.
64. Ober G., Szweda S.: Wpływ luzów w połączeniach przegubowych mechanizmu prostowodowego bezlemniskatowej obudowy ścianowej na szerokość nie zabudowanej ścieżki stropu wyrobiska. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1998, nr 7, s. 36-42.
65. Oreste P.P. Analysis of structural interaction in tunnels using the covergence-confinement apporoach. Tunn. Undergr. Space Technol. 18/2003 pp.347-363.

66. Peng S.S.: Longwall mining. 2nd ed. Syd S. Peng Publisher Morgantown 2006.
67. Pieniążek J., Stefainski J.: Uszkodzenia w układach hydraulicznych górniczych obudów zmechanizowanych. *Hydraulika i Pneumatyka* 2007 nr 1 s. 18-23.
68. Płonka M.: Statyczne i dynamiczne pomiary ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej w ścianach zawałowych. *Wiadomości Górnicze* 2009 nr 12, s. 698-705.
69. Płonka M., Rajwa S.: Podporność i rozkłady sił w węzłach sekcji obudowy zmechanizowanej. *Wiadomości Górnicze*, nr 10, 2009, s. 611 – 617.
70. Płonka M., Rajwa S.: Assesment of Powered Support Loadings in Plow and Shearer Longwalls in Regard to the Presssure Measurements in Props. W: *International Mining Forum 2011. 24-26 November 2011 – Bogdanka, Poland. A Balkema Book. CRC Press ©2011 Taylor & Francis Group, London UK, 2011, s. 253-264.*
71. Potempa J.: Hydrauliczny układ podpornościowy górniczej obudowy zmechanizowanej. W: *Materiały na konferencję: Napędy i Sterowania Hydrauliczne i Pneumatyczne, Konferencja Naukowo-Techniczna, Katowice, 1 marca 2005 s. 70-87.*
72. Prusek S.: Czynniki wpływające na powstawanie obwałów skał w ścianach prowadzonych z zawałem skał stropowych. *Przegląd Górniczy* 2014 nr 3, 71-78.
73. Prusek S.: Klasyfikacja obwałów skał stropowych w ścianach zawałowych. *Wiadomości Górnicze* 2014 nr 6, s. 325-334.
74. Prusek S.: Stateczność wyrobisk ścianowych podczas eksploatacji pokładów węgla kamiennego z zawałem skał stropowych. *GIG Katowice* 2016.
75. Prusek S., Płonka M., Walentek A.: Applying the ground reaction curve concept to the assesment of shield support performance in longwall faces. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 9, Issue 3, 2016, s. 1-15.
76. Prusek S., Rajwa S., Walentek A.: Wykorzystanie modelowania numerycznego w ocenie stateczności przyczółowej strefy wyrobiska. W: *XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. "Górnicze Zagrożenia Naturalne 2005" GIG Katowice 2005, s. 239-252.*

77. Prusek S., et al: Assessment of performance of powered shield support used on weak floor. W: Proceedings of the 23th World Mining Congress August 2013, Montreal, Canada, 2013.
78. Ptak J., Ślusarz R.: Porównanie nacisków obudowy Glinik 14/35-Poz na spąg obliczonych metodą analityczną i metodą Jacksona. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2010 nr 5, s.16- 21.
79. Rajwa S., Masny W., Prusek S.: Powered Support in Conditions of Rock Mass Tremor Occurrence in the Polish Coal Mining. Aachen International Mining Symposia. 5th International Symposium – High Performance Mining. RWTH Aachen 2009.
80. Rajwa S., Prusek S.: Wpływy podporności wstępnej obudowy zmechanizowanej na warunki utrzymania stropu. W: Konferencja Naukowo-Szkoleniowa Efektywność stosowania zmechanizowanych kompleksów ścianowych – remontowane czy nowe. Prace Naukowe GIG, S. Konferencje nr 47. GIG Katowice 2004, s. 49-54.
81. Reś J., Sośnica J.: Wybrane aspekty upodatkowania ścianowej obudowy zmechanizowanej. Transport Przemysłowy Maszyny Robocze. 2009 nr 3, s. 106-113.
82. Sikora W.: Wpływ wyposażenia technicznego przodków ścianowych na wyniki produkcyjne. Maszyny Górnicze 1992, nr 1, s. 8-13.
83. Sikora W.: Rozwój obudowy zmechanizowanej. Maszyny Górnicze 2001 nr 1, s. 7-13.
84. Sikora W.: Podporność obudowy zmechanizowanej. W: Konferencja Naukowo-Szkoleniowa Nowoczesne obudowy zmechanizowane o dużej podporności. Prace Naukowe GIG, S. Konferencje nr 44, s. 11-15.
85. Smolnik G.: Z marginesu na szczyt – rozwój ścianowego systemu eksploatacji pokładów węgla w USA w ciągu trzech dziesięcioleci. Maszyny Górnicze 2009 nr 1 s. 32-39.
86. Smolnik G.: Najnowsze trendy w badaniu interakcji górotworu i ścianowej obudowy zmechanizowanej. Maszyny Górnicze 2009 nr 4, s. 31-37.
87. Smurzyński J.: Obudowy zmechanizowane. Śląskie Wydaw. Techniczne, 1993.
88. Stępor J., Szyguła M., Mazurek K.: Metodyka opracowania opinii rzeczoznawcy – współpraca różnych typów sekcji obudowy zmechanizowanej w jednej ścianie w aspekcie identyfikacji

- problemów i ich rozwiązywania. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, KOMTECH 2013. ITG KOMAG, Gliwice 2013 s. 41-52.
89. Stoiński K.: Obudowy górnicze w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. GIG, Katowice, 2000.
 90. Szweda S.: A field of application of roof supports with respect to a criterion of a floor – bottom sprag co-operation. Zborník referatov. BVTK Bánská mechanizácia. ČSVTS Košice, 1987, s. 155–166.
 91. Szygula M.: Rozwój konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej w górnictwie węgla kamiennego w Polsce. Maszyny Górnicze 2013 nr 2 s. 30-38.
 92. Szygula M., Cieślak Z., Gerlich J.: Identyfikacja trwałości stojaków i siłowników wykonawczych stosowanych w sekcjach obudowy zmechanizowanej. Maszyny Górnicze 2012, nr 1, s. 14-18.
 93. Ślusarz R., Kret A.: Diagnostyka obudów zmechanizowanych. W: Materiały na konferencję. VI Konferencja Naukowo-Techniczna "Innowacyjne maszyny i technologie. Nowe trendy w budowie maszyn". Szczyrk 4-5 lutego 2010, s. 3 nienumerowane.
 94. Ślusarz R., Kret A.: Nowoczesne wyposażenie ścian wydobywczych z Zakładu Maszyn Górniczych "Glinik" sp. z o.o. Wiad. Gór. 2011 nr 9 s. 486-492
 95. Trojan A., Ślusarz R., Kret A.: Nowoczesne metody projektowania i technologie stosowane przy remontach i modernizacjach obudów zmechanizowanych przez Zakład Maszyn Górniczych GLINIK Sp. z o.o. Maszyny Górnicze 2001, nr 1, s. 26-30.
 96. Trojan A., Zabierowski S.: Pierwsza bezleminiskatowa obudowa ścianowa Glinik-13/29-Pz, Wiadomości Górnicze 1996 nr 4, str.163-165
 97. Wala T.: Statika Štitových vyztuží. Spravodaj BVU nr 1, 1976, s. 8-10
 98. Wengerski S., Paszenda B.: Obudowa HYDROTECH-14/53-P-M jako dodatkowe wzmocnienie obudowy kotwiowej w miejscach szczególnie zagrożonych. W: Materiały na konferencję: Obudowa kotwiowa jako skuteczny sposób zabezpieczania wyrobisk górniczych. II Konferencja, Świeradów, 1-3.06.1998 s. 219-228.

99. Wilson A.H.: Support load requirements on longwall faces. *Mining Engineer* Vol134, 1975 s. 479-491.
100. Witek M.: Wpływ wytrzymałości skał spągowych na warunki pracy sekcji obudowy zmechanizowanej w ścianie. Praca doktorska GIG Katowice 2014, (praca niepublikowana).
101. Witek M., Prusek S.: Numerical calculation of the stress in the shield support based on the results of laboratory tests. *Computers and Geotechnics* Vol. 72, 2016, s. 74-88.
102. Włoszek J.: Specjalna obudowa zmechanizowana podsadzkowo-zawałowa GLINIK – 19/34 – Pp. *Maszyny Górnicze* 1992, nr 3, s. 7-12.
103. Wojtacha M., Polak-Micewicz M.: Komputerowe wspomaganie procesu projektowania obudów ścianowych w FAZOS S.A. TUR 2009 Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych. AGH Kraków 2009 s. 258-265.
104. Wyciągi z DTR i Instrukcji Obsługi sekcji obudowy zmechanizowanej udostępnione w latach 2003-2016 przez zleceniodawców na użytek uzyskania opinii rzeczoznawcy. ITG KOMAG (materiały niepublikowane).
105. Wyniki oceny stanu technicznego sekcji obudowy, przeprowadzane z udziałem ITG KOMAG w latach 2010-2016. ITG KOMAG (prace niepublikowane).
106. Zorychta A.: Wpływ warunków naturalnych i technologicznych na zagrożenie tąpnięciami. *Kwartalnik AGH Górnictwo* z. 2, 1988, s. 69-99.
107. Dokumentacja W31.101/1, Modułowa obudowa zmechanizowana MOZ-14/32-POz, KOMAG 1986.
108. Dokumentacja techniczno-ruchowa, Obudowa ścianowa zmechanizowana BW-17/43-POz2, Świerklany 2003.
109. Dokumentacja techniczno-ruchowa, Obudowa zmechanizowana FAZOS-12/32,5-POz1, Tarnowskie Góry 2000.
110. Dokumentacja W31.054, Obudowa podporowa PIOMA-24/47-Oz, KOMAG 1983.
111. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-08/22-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.257, Gliwice 2012 (materiały niepublikowane).

112. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-11/25-POz wg dokumentacji ITG KOMAG, Gliwice 2012 (materiały niepublikowane).
113. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-12/25-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.283, Gliwice 2015 (materiały niepublikowane).
114. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-14/34-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.267, Gliwice 2013 (materiały niepublikowane).
115. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-16/32-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.269, Gliwice 2013 (materiały niepublikowane).
116. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-16/34-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.250, Gliwice 2012 (materiały niepublikowane).
117. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-16/35-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.263, Gliwice 2013 (materiały niepublikowane).
118. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-24/46-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.231, Gliwice 2009 (materiały niepublikowane).
119. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej HYDROMEL-29/46-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.286, Gliwice 2016 (materiały niepublikowane).
120. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej KHW-12/28-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.230, Gliwice 2008 (materiały niepublikowane).
121. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej KHW-12/28-POz/Pp wg dokumentacji ITG KOMAG W31.242, Gliwice 2008 (materiały niepublikowane).
122. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej KHW-14/24-Pp wg dokumentacji ITG KOMAG W31.234, Gliwice 2009 (materiały niepublikowane).
123. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej KW-12/28-POz/ZRP wg dokumentacji ITG KOMAG W31.238, Gliwice 2008 (materiały

- niepublikowane).
124. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej KW-12/31-POzW1/ZRP wg dokumentacji ITG KOMAG W31.242, Gliwice 2008 (materiały niepublikowane).
 125. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej KW-12/31-POzW2/ZRP wg dokumentacji ITG KOMAG W31.244, Gliwice 2009 (materiały niepublikowane).
 126. Zespoły sekcji obudowy zmechanizowanej PUMAR-08/22-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W31.253, Gliwice 2012 (materiały niepublikowane).
 127. Zespoły modernizacyjne obudowy zmechanizowanej JZR-17/41-POz wg dokumentacji ITG KOMAG W38.052, Gliwice 2012 (materiały niepublikowane).
 128. PN-87/G-01100/01 Obudowa górnicza. Obudowa wyrobisk eksploatacyjnych. Obudowy zmechanizowane. Podział i terminologia. (bez zastąpienia).
 129. PN-EN 1804-1+A1:2011. Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne.
 130. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, Dz. U. nr 139 poz. 1169.
 131. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 09 czerwca 2006 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, Dz. U. Nr 124, poz. 863.
 132. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 25 czerwca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, Dz. U. Nr 126, poz. 855.
 133. Wytyczne i kryteria oceny stopnia zużycia elementów obudowy zmechanizowanej. Ministerstwo Przemysłu i Handlu Warszawa 1993.
 134. <https://whayne.com/new-equipment/machines/roof-supports/customized-roof-support-systems/> (21 października 2016).

Czynniki wpływające na postać konstrukcyjną i parametry techniczne sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej

Część 1

Czynniki naturalne, techniczne i konstrukcyjne

Streszczenie

Sekcje ścianowej obudowy zmechanizowanej stosowane są już od ponad 70 lat. W niniejszej, pierwszej części monografii omówiono tendencje rozwojowe obudowy zmechanizowanej oraz różnorodne czynniki wpływające na postać konstrukcyjną i parametry techniczne sekcji.

Rozwój postaci konstrukcyjnej sekcji stymulowały głównie rosnące wymagania funkcjonalne. W rozdziale 2. przedstawiono tendencje rozwojowe prowadzące do zaprojektowania współcześnie produkowanych typów sekcji obudowy zmechanizowanej.

Mnogość, zarówno warunków naturalnych i technicznych panujących w wyrobiskach ścianowych, jak również wymagań funkcjonalnych sprawiła, że opracowywane i projektowane sekcje mają różnorodne właściwości i schematy konstrukcyjne. Systematykę rodzajów konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej omówiono w rozdziale 3., skupiając się nie tylko na systematyce przywołanej w zharmonizowanej normie PN-EN 1804-1+A1:2011. Ze względu na przejrzyste odzwierciedlenie cech konstrukcyjnych sekcji omówiono również systematykę podaną w wycofanej Polskiej Normie PN-87/G-01100/01 oraz inne systematyki, w których wyeksponowano cechy konstrukcyjne sekcji obudowy zmechanizowanej.

W rozdziale 4. przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne poszczególnych zespołów sekcji, zmieniające swoje cechy wraz z rosnącymi wymaganiami użytkownika. W szczególności omówiono modyfikacje postaci konstrukcyjnej stropnic, spągnic i układów przesuwnych. Dokonano również przeglądu rozwiązań konstrukcyjnych zespołów hydrauliki siłowej, w które wyposażona jest sekcja obudowy zmechanizowanej.

Podstawowymi czynnikami decydującymi o parametrach sekcji oraz o cechach geometrycznych jej zespołów są czynniki naturalne. W rozdziale 5. omówiono metody i kryteria doboru parametrów technicznych sekcji do warunków geologiczno – górniczych panujących w wyrobisku. Przedstawiono

współcześnie rozwijane prace nad zastosowaniem krzywych reakcji górotworu do analizy interakcji sekcji ze skałami otaczającymi oraz wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych, dotyczących współpracy spągnicy ze spągciem. Zwrócono także uwagę na badania interakcji sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem prowadzone głównie w Rosji i USA.

W rozdziale 6. omówiono zmiany postaci konstrukcyjnej zespołów sekcji, inspirowane wnioskami z ocen stanu technicznego sekcji, przeprowadzanych przed zainstalowaniem kompletu obudowy w kolejnym wyrobisku ścianowym. Przedstawiono również przykładowe wyniki analizy awaryjności zespołów sekcji obudowy zmechanizowanej, głównie zespołów hydrauliki siłowej oraz wstępne oszacowania podstawowych wskaźników niezawodności sekcji.

Factors affecting the construction form and technical parameters of longwall powered roof support unit

Part 1

Natural, technical and construction factors

Abstract

Units of longwall powered roof support have been used for more than 70 years. In the first part of the monograph some development trends of powered roof supports and variety of factors affecting a construction form and technical parameters of the support unit are discussed.

A development of a support unit construction form was mainly stimulated by increasing functional requirements. Chapter 2 presents development trends leading to designing types of powered roof supports manufactured at present.

A multitude of both natural and technical conditions in longwall workings, as well as functional requirements caused that developed and designed support units have different characteristics and structural diagrams. Systematic types of powered roof support construction are discussed in Chapter 3, focusing not only on the systematics cited in the harmonized PN-EN 1804-1+A1:2011 Standard. Due to a transparent reflection of the support unit construction features, the systematics specified in the withdrawn Polish Standard PN-87/G-01100/01 has been discussed as well as other systematics, in which design features of powered roof support units have been presented.

Chapter 4 contains design solutions of individual unit assemblies, changing their features along with growing user's demands. In particular, modifications of canopies, bases and advancing systems have been discussed. A review of design solutions of power hydraulic assemblies, installed in powered roof supports has been made.

The main factors that decide about parameters of powered roof supports and geometric features of that assemblies are natural factors. In chapter 5 methods and selection criteria of technical parameters according to geological conditions in the working are discussed. Recently developed projects concerning an application of rock mass response curve to a support unit interaction analysis with adjacent rocks, and results of theoretical and experimental tests concerning a cooperation of the case with the floor, have been presented. Attention was also

drawn to the powered roof support unit interaction tests with the rock mass conducted mainly in Russia and the USA.

In chapter 6 changes in the construction of the support unit assemblies, which are inspired by conclusions resulting from inspections of technical conditions of support units, conducted before installation of powered roof supports in the next longwall working, have been discussed. The paper also presents some examples of the analysis results of the powered roof support system failure frequency, especially power hydraulics and a preliminary assessment of the support unit basic reliability indicators.