

## Zmechanizowana obudowa nowego typu do pokładów cienkich

prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze  
dr inż. Waldemar Rączka  
dr inż. Grzegorz Stopka  
AGH w Krakowie

### Streszczenie:

Jednym z podstawowych problemów górnictwa podziemnego zarówno w Polsce jak i na świecie jest eksploatacja pokładów cienkich. Zasadniczą przeszkodą w wybieraniu pokładów cienkich stanowią ekstremalnie trudne warunki eksploatacji i obsługi maszyn zmechanizowanego kompleksu ścianowego, które w dużej mierze wynikają z charakterystyki aktualnie stosowanych zmechanizowanych obudów ścianowych. W związku z powyższym w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH w Krakowie podjęto prace badawcze nad opracowaniem nowej konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej dedykowanej do pracy w pokładach cienkich. W artykule przedstawiono koncepcyjne, wirtualne modele nowej sekcji zmechanizowanej obudowy do pokładów cienkich, a także podstawowe założenia dla układu sterowania obudową. Prace badawcze w tym zakresie zostały zrealizowane w ramach projektu pt. *Prace studialne i badawcze nad opracowaniem zmechanizowanej obudowy nowego typu do pokładów cienkich* dofinansowanego z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR).

Słowa kluczowe: zmechanizowana obudowa, pokłady cienkie, system sterowania

Keywords: hydraulic roof support, low seams, control system

### Abstract:

One of the basic problems of polish and underground mining is low seams extraction. The main impediment in this case are extremely harsh exploitation and operation conditions of long-wall complex machines, which in most cases result from the characteristics of mechanized hydraulic roof supports. According to this, in Department of Mining, Dressing and transport Machines at AGH University in Krakow the research was undertaken in scope of development of principles and guidelines for the design of innovative hydraulic roof support for low seams, based on model and experimental studies. In this paper virtual models of new hydraulic roof support were presented, as well as the main assumption for control system. Research in this field were conducted under the project entitled *Studies of development of innovation hydraulic roof support for low seams*. The project is funded by the National Center of Research and Development (NCBiR).

## 1. Wprowadzenie

Pokłady cienkie, a więc pokłady o miąższości poniżej 1,5 m, mają znaczenie strategiczne dla bezpieczeństwa energetycznego Polski. Udział pokładów cienkich w zasobach polskich kopalń węgla kamiennego wynosi blisko 16,5%, co łącznie daje 659 mln ton węgla. Mając na uwadze kurczące się zasoby węgla kamiennego sięgnięcie po węgiel w pokładach cienkich będzie nieuniknione. Według niektórych źródeł zasoby węgla w pokładach cienkich szacuje się na blisko miliard ton węgla, co przy obecnych możliwościach wydobywczych polskich kopalni węgla kamiennego zagwarantuje im ciągłą pracę na co najmniej kilkanaście lat. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że podobne tendencje obserwować można na przykładzie niektórych krajów Europy czy Azji (Ukraina, Chiny, Indie, Indonezja), gdzie pokłady cienkie stanowią zdecydowaną większość bazy zasobowej. Do niedawna w pokładach cienkich funkcjonowało zaledwie 2% ogólnej liczby przodków ścianowych. Kurczące się zasoby węgla kamienne w obszarach o dogodnych warunkach górniczo - geologicznych sprawiają, że kopalnie modyfikują swoje plany ruchu na najbliższe lata, uwzględniając eksploatację cienkich pokładów węgla [1, 2].

Zagadnienie eksploatacji pokładów cienkich nie jest jednak łatwe i w praktyce napotyka na szereg problemów w postaci barier technicznych, ergonomicznych oraz ekonomicznych.

Dotyczą one zwłaszcza ścian kombajnowych, gdzie wymagana jest obecność ludzi w ścianie, a podstawowym problemem jest kwestia ograniczonej przestrzeni roboczej w wyrobisku ścianowym. Generuje ona problemy techniczne i organizacyjne zwłaszcza przy uruchamianiu czy likwidacji wyrobiska ścianowego. Pojawiają się wtedy problemy transportu i instalacji maszyn oraz urządzeń o masie co najmniej kilkudziesięciu ton. Utrudnienia wynikające z mocno ograniczonej przestrzeni roboczej rzutują na spowolnienie przemieszczania się załogi, zmniejszeniu wydajności pracy ludzi w ścianie, co w rezultacie prowadzi do spadku dyspozycyjnego czasu pracy ściany. Pogarszają się także warunki klimatyczne związane z wentylacją wyrobiska, gdyż zmniejszeniu ulega jego przekrój. Ograniczona przestrzeń robocza powoduje w rezultacie poważne problemy związane zarówno z bezpieczeństwem jak i ergonomią pracy ludzi w ścianie niskiej. Podstawowe problemy wynikające ze specyficznych i trudnych warunków eksploatacji pokładów cienkich rzutują na efekt ekonomiczny przedsięwzięcia, który ma znaczenie decydujące. Z uwagi na brak opłacalności eksploatacji pokładów cienkich ich eksploatacja jest często zaniechana.

Tematyka eksploatacji pokładów cienkich jest obecnie głównym obiektem zainteresowań producentów oraz użytkowników zmechanizowanych kompleksów ścianowych. Wynika to z faktu, iż niezależnie od szeregu czynników górniczo – geologicznych, które w różnym stopniu mogą wpływać na możliwości techniczne prowadzenia ścian niskich, kwestia wzrostu koncentracji wydobywania z pokładów cienkich jest powiązana przede wszystkim z konstrukcją odpowiednio przystosowanych do ekstremalnie trudnych warunków maszyn zmechanizowanego kompleksu ścianowego. Biorąc pod uwagę charakter opisywanych wyżej problemów towarzyszących prowadzeniu niskich ścian wydobywczych, zwłaszcza ścian kombajnowych, należy opracować nowe maszyny i urządzenia dostosowane do takich warunków pracy. Na powyższe stwierdzenia składa się szereg właściwości konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej, które zwłaszcza w trudnych warunkach ścian niskich bezpośrednio rzutują na aspekty techniczne, ergonomiczne a przede wszystkim ekonomiczne eksploatacji.

Poza wspomnianymi wyżej aspektami, które determinują konstrukcje obudów zmechanizowanych do eksploatacji ścian niskich, należy podkreślić podejmowane aktualnie działania producentów obudów zmierzające do minimalizacji kosztów produkcji przy jednoczesnym zwiększeniu podporności obudów. Działania te wynikają z faktu, iż koszt zakupu i instalacji sekcji obudów zmechanizowanych jest dominującym kosztem inwestycji w zmechanizowany kompleks ścianowy (koszty te sięgają wartości kilkudziesięciu mln PLN). Z drugiej strony pogarszające się warunki górniczo - geologiczne związane z ogólną tendencją wybierania coraz niżej położonych pokładów wymuszają wzrost podporności obudów zmechanizowanych.

Mając na uwadze powyższe w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH w Krakowie rozpoczęto prace badawcze, których głównym celem jest opracowanie i przebadanie nowej konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej do pokładów cienkich. W artykule przedstawiono wybrane zagadnienie poruszone w ramach pierwszej fazy projektu badawczego, w tym założenia dla konstrukcji tejże obudowy oraz koncepcję układu sterowania.

## 2. Koncepcja obudowy do pokładów cienkich

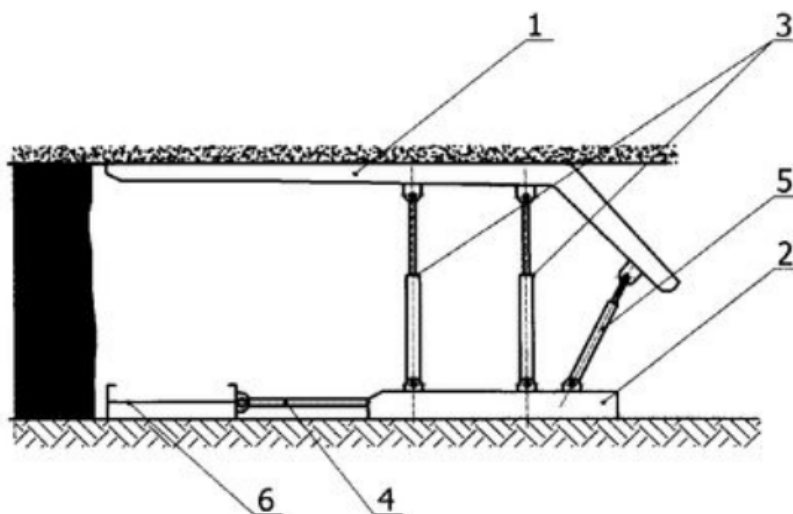
Obecnie w wyrobiskach ścianowych, także w ścianach niskich, powszechnie stosowane są sekcje obudowy podporowo – osłonowej. Charakterystyczną cechą tych obudów jest

przegubowe połączenie stropnicy ze spągnicą za pomocą osłony odzawałowej oraz przednich i tylnych łączników. W warunkach eksploatacji pokładów cienkich struktura kinematyczna sekcji obudów podporowo - osłonowych stanowi istotny problem dla poprawy ergonomii i bezpieczeństwa pracy ludzi w ścianie. Charakterystyczne pochylenie stojaków skutkuje bowiem zmniejszeniem przekroju strefy przejścia. Wynikiem powyższego jest nie tylko trudność w poruszaniu się załogi w ścianie, ale także pogorszenie się warunków klimatycznych w przestrzeni eksploatacyjnej, czego przyczyną są problemy z przewietrzaniem wyrobisk. Pochylenie stojaków sekcji obudowy podporowo - osłonowej w warunkach niskich ścian wydobywczych generuje także niekorzystny stan obciążeń podstawowych elementów sekcji, co z uwagi na względy wytrzymałościowe prowadzi do wzrostu masy konstrukcji sekcji obudowy.

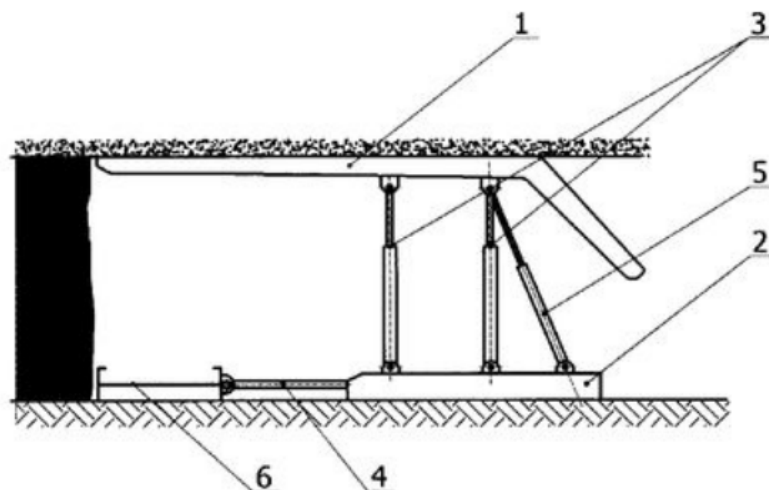
Mając na uwadze uwarunkowania eksploatacji pokładów cienkich jak i wady aktualnie stosowanych obudów zmechanizowanych w Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych opracowano koncepcję sekcji obudowy zmechanizowanej nowego typu w oparciu o następujące, zasadnicze założenia konstrukcyjne:

- zwiększenie powierzchni strefy przejścia w stosunku do sekcji obudowy podporowo - osłonowej, a przez to poprawę ergonomii i bezpieczeństwa pracy ludzi w ścianie oraz warunków klimatycznych w przestrzeni eksploatacyjnej,
- zwiększenie stosunku podporności obudowy do jej masy w stosunku do obecnie stosowanych rozwiązań obudów,
- zmniejszenie liczby elementów podstawowych obudowy przez uproszczenie konstrukcji w stosunku do sekcji obudowy podporowo - osłonowej,
- zmniejszenie kosztów wykonania konstrukcji elementów podstawowych sekcji obudowy zmechanizowanej (wynikające z redukcji masy sekcji i uproszczeń jej konstrukcji) w odniesieniu do sekcji obudowy podporowo - osłonowej.

Koncepcję sekcji obudowy w postaci uproszczonego schematu pokazano na rysunku 1 [4]. Istota rozwiązania polega na tym, że elementy podstawowe sekcji, a więc stropnica 1 i spągnica 2 połączone są ze sobą stojakami hydraulicznymi 3 oraz siłownikiem (siłownikami) zastrzałowym 5. Natomiast siłownik przesuwu 4 łączy spągnicę 2 z rynną przenośnika 6. Elementy hydrauliczne są mocowane przegubowo. Możliwe są różne warianty połączenia elementów podstawowych nowej obudowy (rys. 1 i 2).



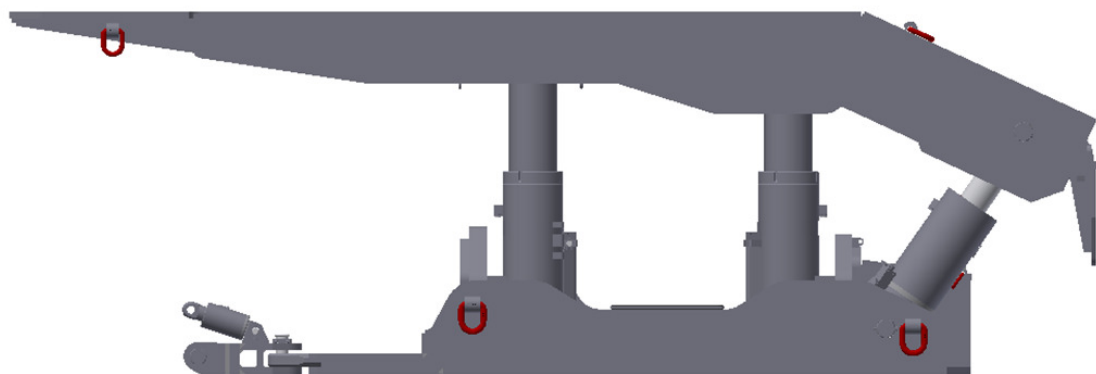
Rys. 1. Koncepcja obudowy nowego typu - wariant 1 [4]



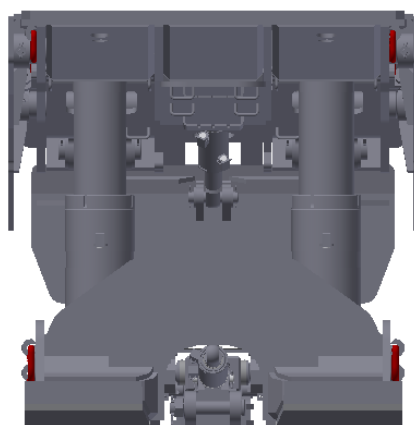
Rys. 2. Koncepcja obudowy nowego typu - wariant 2 [4]

Zaletą przedstawionej struktury kinematycznej sekcji obudowy jest pionowy ruch stropnicy w cyklu rozpięcia i rabowania obudowy, co praktycznie eliminuje styczne do powierzchni stropnicy siły tarcia. Połączenie przegubowe stojaków i siłowników ze stropnicą i spągnicą w znaczący sposób eliminuje powstanie momentów gnących w stojakach, zwłaszcza w cyklu przekładki obudowy. Do podstawowych zalet nowego rozwiązania należy wielkość strefy przejścia, większa niż w dotychczas eksploatowanych sekcjach obudowy oraz uproszczenie konstrukcji poprzez wyeliminowanie układu lemniskatowego oraz klasycznej osłony odzawałowej. W porównaniu do stosowanych obecnie sekcji obudów podporowo - osłonowych zastosowanie sekcji obudowy nowego typu pozwoli na skrócenie długości technicznej rozpiętości wyrobiska (mniejsza, sumaryczna długość stropnicy i rzutu osłony odzawałowej na płaszczyznę równoległą do płaszczyzny stropu), co przyczyni się do zmniejszenia obciążeń działających na konstrukcję obudowy, a więc pozwoli na zastosowanie stojaków o mniejszych gabarytach. Reasumując przedmiotowe rozwiązanie łączy w sobie zalety sekcji obudowy z prowadzeniem lemniskatowym oraz walory klasycznej sekcji obudowy podporowej, a w kontekście aktualnych problemów eksploatacji cienkich pokładów węgla staje się rozwiązaniem o istotnych walorach użytkowych.

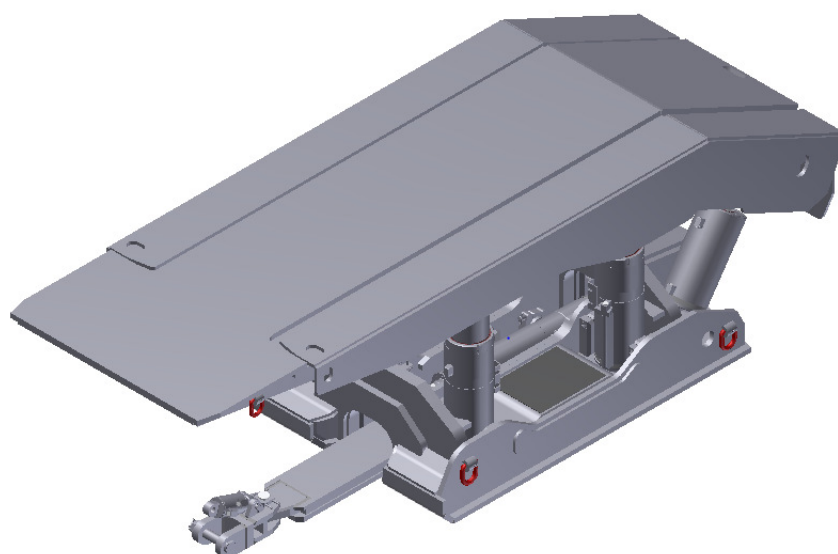
W oparciu o przedstawiony, uproszczony schemat ideowy rozpoczęto badania modelowe, których celem było sparametryzowanie konstrukcji nowej, zmechanizowanej obudowy do pokładów cienkich. Przykładowy widok wirtualnych modeli obudowy pokazano na rysunkach 3 ÷ 5. Zaprezentowana postać konstrukcji sekcji obudowy jest wynikiem szczegółowych analiz, w tym badań wytrzymałościowych z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych. Symulacyjnej weryfikacji konstrukcji obudowy dokonano w oparciu o wymagania zawarte w normie PN - EN 1804 dotyczące zwłaszcza stanu obciążeń. Szczególną uwagę zwrócono na asymetryczne obciążenie obudowy [3, 5]. W modelu szczegółowym obudowy uwzględniono wszystkie, niezbędne z punktu widzenia współpracy obudowy z pozostałymi maszynami kompleksu ścianowego, elementy konstrukcyjne jak i dodatkowe elementy istotne z uwagi na konieczność przeprowadzania badań stanowiskowych np. modyfikacje konstrukcji stojaków w celu instalacji czujników przemieszczeń.



Rys. 3. Wirtualny model obudowy nowego typu - widok z boku

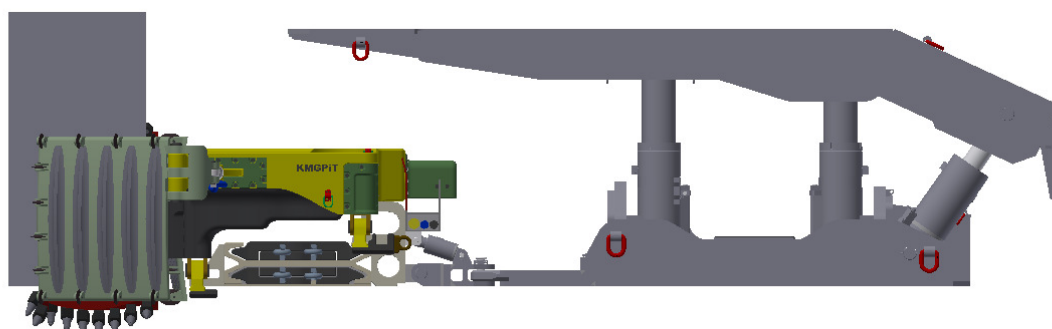


Rys. 4. Wirtualny model obudowy nowego typu - widok z przodu



Rys. 5. Wirtualny model obudowy nowego typu - widok przestrzenny

Zgodnie z przyjętymi założeniami sekcję obudowy zaprojektowano jako sekcję złożoną z czterech głównych stojaków i dwóch stojaków zastrzałowych. Stojaki główne, w czasie rozpierania i rabowania sekcji, zachowują prostopadłość osi do powierzchni stropu i spągu. Tylne zastrzały nachylone w stosunku do płaszczyzny poziomej kompensują reakcje wywołane poziomymi siłami tarcia i korygują położenie stojaków głównych. Taka kinematyka sekcji obudowy umożliwiła lokalizację strefy przejścia w obszarze pomiędzy stojakami głównymi obudowy. W konstrukcji zastosowano stojaki jednoteleskopowe tak, aby umożliwić montaż przetworników drogi wewnątrz ich konstrukcji. Konstrukcję spągnicy wykonano jako tzw. katamaran, natomiast stropnica jest wykonana jako tzw. stropnica liniowa z załamaniem w części zawałowej. Sekcję wyposażono w układ przesuwu, który pozwoli na realizację cyklu pracy obudowy "bez kroku wstecz". Należy przy tym nadmienić, że docelowo projektowana sekcja będzie pracować w tzw. układzie kaskadowym (przestawnym). Na belce przesuwnika zastosowano dodatkowy siłownik dla kątowej korekcji położenia rynny przenośnika. Sekcję wykonano w podziałce 1,5 m. Zakres roboczy sekcji mieści się w przedziale 1,1÷1,5. Całkowita długość stropnicy wynosi 4465 mm. W oparciu o opracowany model obudowy sprawdzono także możliwość wystąpienia kolizji, zwłaszcza w warunkach współpracy z pozostałymi maszynami kompleksu ścianowego. Dokonano tego na podstawie badań kinematyki sekcji w układzie wirtualnego kompleksu ścianowego. Widok modelu 3D, który został wykorzystany do badań weryfikujących współpracę sekcji obudowy z pozostałymi maszynami kompleksu ścianowego do pokładów cienkich pokazano na rysunku 6.

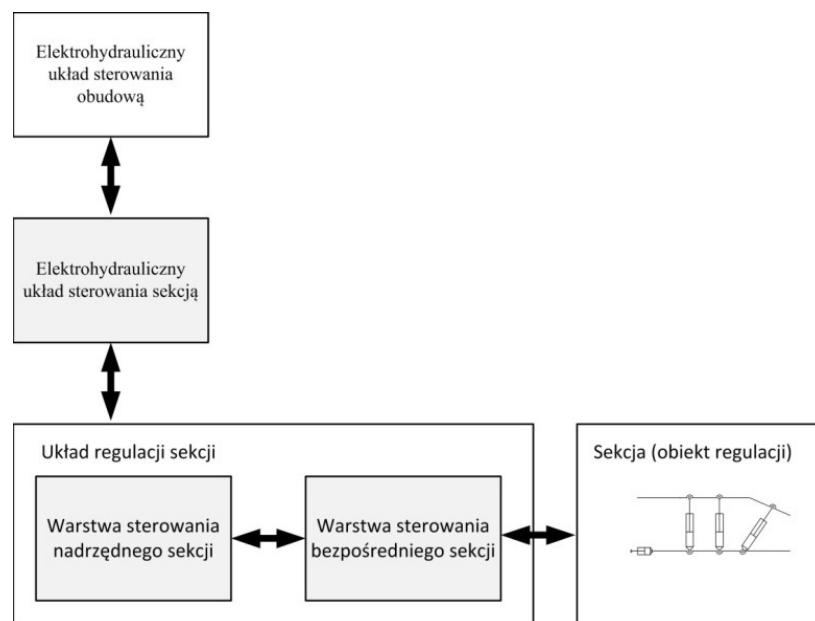


Rys. 6. Wirtualny model obudowy nowego typu w układzie OPK (obudowa - przenośnik - kombajn) w fazie przekładki obudowy

### 3. Koncepcja układu sterowania i automatyki

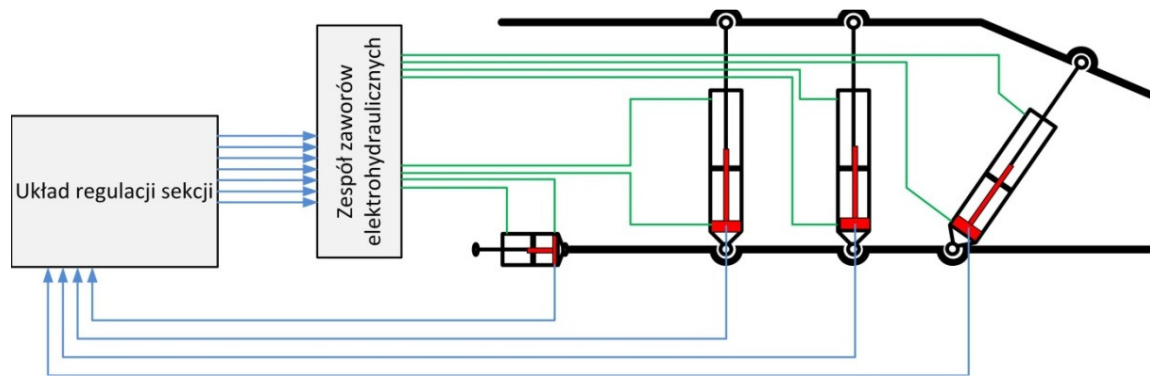
Innowacyjna konstrukcja sekcji obudowy zmechanizowanej nowego typu wymaga wykorzystania do realizacji poszczególnych cykli pracy elektrohydraulicznego systemu sterowania. Wynika to ze specyficznej struktury kinematycznej sekcji oraz liczby zastosowanych siłowników hydraulicznych (stojaków). Zastosowanie automatycznego systemu sterowania powinno gwarantować kontrolę ruchu tak, aby zapewnić prostopadłość stojaków do spągnicy i jednoczesną równoległość położenia stropnicy do spągnicy zarówno w czasie rabowania jak i rozpierania obudowy. Aktualnie w sekcjach zmechanizowanych obudów ścianowych stosowane są złożone układy automatycznego sterowania. Jednak ich bezpośrednia adaptacja do przedmiotowego rozwiązania jest niemożliwa głównie ze względu na konieczność stosowania dedykowanych algorytmów sterowania dostosowanych do specyfiki kinematycznej struktury nowej obudowy. Mając na uwadze powyższe, prace

badawcze w tym zakresie skoncentrowano na opracowaniu algorytmów sterowania sekcji obudowy oraz syntezie układu sterowania w oparciu o dostępne na rynku elementy. Ogólny schemat blokowy nowego układu sterowania pojedynczą sekcją pokazano na rysunku 7. Jak wynika ze schematu, układ sterowania pojedynczą sekcją (URS) jest złożony z warstwy sterowania nadrzędnego i bezpośredniego. URS jest układem regulacji, który bezpośrednio steruje sekcją obudowy na podstawie sygnałów otrzymanych z nadrzędnego systemu sterowania obudową (EUSS). Przyjęto, że układ regulacji sekcji (URS) będzie w pełni kompatybilny z nadrzędnym, standardowo stosowanym systemem sterowania obudową (EUSS) tak, aby nie zmieniać wypróbowanych już w praktyce rozwiązań. Cechy i funkcjonalności tychże układów umożliwią przyspieszenie prace badawczych i prac wdrożeniowych oraz obniżenie ich kosztów.



Rys. 7. Schemat blokowy nowego układu sterowania sekcją

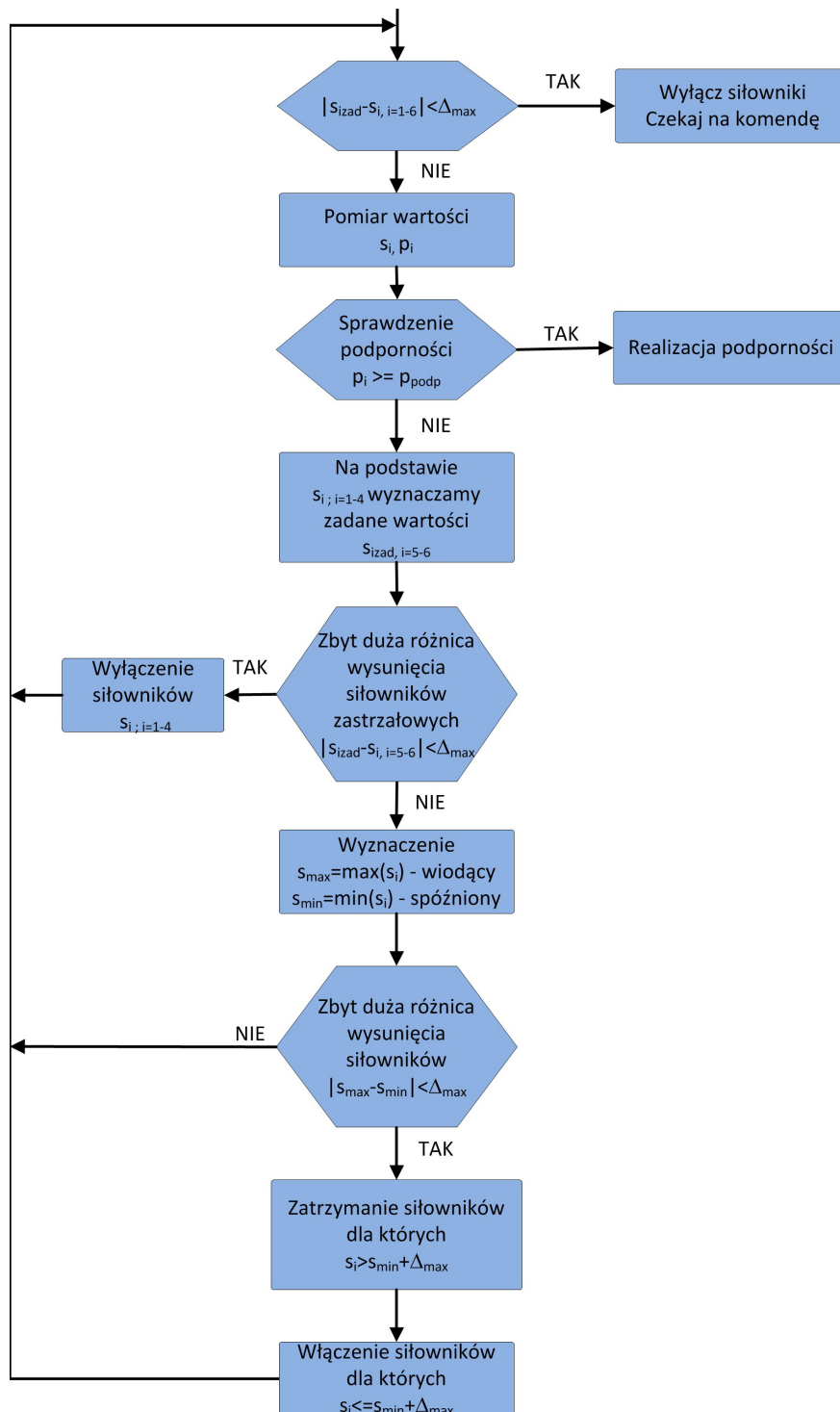
Jak już nadmieniono układ regulacji pojedynczej sekcji składa się z warstwy sterowania nadrzędnego i warstwy sterowania bezpośredniego. Układ regulacji sekcji jest zintegrowany z sekcją obudowy poprzez sygnały pomiarowe i sterujące. Z uwagi na nadmiarowość kinematyczną obiektu podlegającego sterowaniu konieczne było wyposażenie każdego ze stojaków hydraulicznych w przetworniki drogi oraz przetworniki ciśnienia, mierzące ciśnienie emulsji w przestrzeni nad- i pod-tłokowej stojaka. Układ pomiarowo-sterujący sekcji, schematycznie pokazano na rysunku 8. Na tym rysunku kolorem czerwonym zaznaczono przetworniki przemieszczenia zabudowane w siłownikach, kolorem niebieskim sygnały elektryczne z przetworników i sterujące zaworami elektrohydraulicznymi, natomiast kolorem zielonym zaznaczono przewody hydrauliczne łączące elektrozawory z siłownikami hydraulicznymi. Warstwa sterowania nadrzędnego komunikuje się z nadrzędnym systemem sterowania obudową (EUSS). Ze sterownika EUSS otrzymuje sygnały sterujące np. rabowanie sekcji, rozpieranie sekcji, itd., a zwrótnie EUSS otrzymuje informacje o jej stanie.



Rys. 8. Schemat układu pomiarowo-sterującego sekcji

Warstwa ta interpretuje sygnały (rozkazy) otrzymane z EUSS i wylicza wartości zadane dla warstwy sterowania bezpośredniego. Warstwa sterowania bezpośredniego to część układu regulacji, która na podstawie sygnałów (rozkazów) z części nadrzędnej realizuje sterowanie zaworami hydraulicznymi w celu wykonania określonych funkcji. Ta warstwa sterowania jest odpowiedzialna za pomiar i generowanie sterowań. W tej warstwie na podstawie zmierzonych przemieszczeń siłowników hydraulicznych  $s_i$  (stojaków głównych i stojaków zastrzałowych), uśrednionych kątów ich pochylenia  $\alpha_i$  oraz wartości zadanych w postaci wysuwu poszczególnych stojaków  $s_{izad}$  wyznaczane są sygnały sterujące  $u_i$ , które sterują bezpośrednio zaworami hydraulicznymi sekcji. Przykładowy algorytm sterowania prototypową sekcją dla cyklu rozpierania pokazano na rysunku 9. Algorytm ten ma za zadanie rozprzeć obudowę w celu uzyskania podporności przy jednoczesnej kontroli stateczności obudowy. Z uwagi na fakt, że opracowana obudowa ma określone własności kinematyczne, wprowadzono ograniczenia na kąty pochylenia obudowy. Ze względu na jej konstrukcję i oczywiste niesymetryczności układu skutkujące nierównomiernym wysuwem siłowników zachodzi konieczność ciągłej kontroli jej pochylenia. Skutkuje to koniecznością kontroli kątów pochylenia, a tym samym położenia siłowników. Dlatego algorytm opracowano w taki sposób, by zadawać kolejne punkty trajektorii ruchu siłowników  $s_{zi}$ , aż do jej całkowitego rozparcia. W przypadku, gdy obudowa osiągnie zadaną podporność proces rozpierania zostaje zatrzymany.





Rys. 9. Algorytm rozpierania sekcji, w którym:  $p$  - mierzone ciśnienie w stojakach,  $s$  - mierzony wysuw stojaków,  $s_{izad}$  - zadana wartość wysuwu stojaka,  $i$  - numer stojaka

#### 4. Podsumowanie

Bogactwo zasobów ciekich pokładów węgla zarówno w Polsce jak i na świecie skłania do poszukiwania nowych i bardziej efektywnych technologii ich wybierania. Jednym z podstawowych problemów eksploatacji ciekich pokładów węgla są ekstremalnie trudne warunki pracy oraz obsługi maszyn zmechanizowanego kompleksu ścianowego. Analiza

ograniczeń technicznych i ekonomicznych towarzyszących eksploatacji pokładów o niewielkiej miąższości wskazuje, że jednym z możliwych sposobów ich wyeliminowania jest poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych maszyn zmechanizowanego kompleksu ścianowego.

Przedstawiona w artykule koncepcja sekcji obudowy zmechanizowanej nowego typu stanowi rozwiązanie łączące w sobie zalety obudów podporowo - osłonowych oraz klasycznych obudów podporowych. W efekcie możliwe jest polepszenie istotnych, z punktu widzenia eksploatacji pokładów cienkich, parametrów obudowy, w tym zwiększenie przekroju strefy przejścia jak i zmniejszenie masy obudowy w stosunku do założonej podporności obudowy.

Opisane w niniejszym artykule zagadnienia stanowią podstawę do dalszych prac badawczych oraz wdrożeniowych nad nową konstrukcją obudowy do pokładów cienkich. W następnej kolejności przewiduje się przeprowadzenie szczegółowych badań analitycznych i modelowych w zakresie statyki i wytrzymałości konstrukcji obudowy oraz algorytmów sterowania. Efektem powyższego będzie opracowanie dokumentacji technicznej prototypowej sekcji obudowy oraz przeprowadzenie badań stanowiskowych, które pozwolą na końcową weryfikację rozwiązania.

**Projekt zrealizowano w ramach Programu Badań Stosowanych finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (PBS3/B2/22/2015)**

## Literatura

- [1] Krauze K., Bołoz Ł.: Eksploatacja cienkich pokładów węgla kamiennego. Wybrane problemy eksploatacji węgla i skał zwięzłych. Praca zbiorowa pod kierunkiem Krzysztofa Krauze, Janusza Resia. Kraków: Wydawnictwa AGH, 2009. ISBN 83-915742-2-9
- [2] Krauze K., Bołoz Ł., Paszcza H.: Czy warto poszukiwać nowych technologii eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego w Polsce? *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze* 3/2015
- [3] Gospodarczyk P. i inni.: Wybrane zagadnienia modelowania procesów urabiania, ładowania i odstawy w kompleksach ścianowych. Kraków: Wydawnictwa AGH, 2015. ISBN 978-83-7464-761-8
- [4] Patent PL 213664 B1. Sekcja ścianowej zmechanizowanej obudowy podporowej
- [5] PN-EN 1804-1+A1:2011 Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudów zmechanizowanych. Części 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne