

Koncepcja układu sterowania sekcją obudowy podporowej do niskich ścian

prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze
dr hab. inż. Marek Sibiłak
dr hab. inż. Jarosław Konieczny
dr hab. inż. Waldemar Rączka
dr inż. Grzegorz Stopka
AGH w Krakowie

Streszczenie:

W artykule przedstawiono koncepcję struktury układu sterowania obudową podporową do niskich ścian. W pierwszej części artykułu przedstawiono konstrukcję obudowy i jej właściwości, sposób jej działania i współdziałania z pozostałymi elementami kombajnowego kompleksu ścianowego. Na podstawie analizy pracy obudowy i kompleksu ścianowego formułowano założenia, ograniczenia oraz wymagania dotyczące układu sterowania obudową. W dalszej części artykułu opisano strukturę układu pomiarowego i sterującego oraz omówiono poszczególne bloki funkcjonalne układu. 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:

The paper presents a conception of a structure of control system dedicated for new roof support of low longwall systems. In the first part of the paper the new construction of roof support is presented. Its properties, method of operation and interaction with other elements of longwall system is described too. Next, based on the analysis of the work manner of the support and whole longwall system assumptions, limitations and requirements on the control circuit are formulated. At the end of this paper the structure of the measuring and control system is described and its functional blocks are discussed. 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

Nowa obudowa podporowa do niskich ścian jest przeznaczona do pokładów o miąższości poniżej 1,5 m. Udział pokładów cienkich w zasobach polskich kopalń węgla kamiennego szacuje się nawet na miliard ton. Przy obecnych możliwościach wydobywczych polskich kopalń węgla kamiennego gwarantuje im to ciągłą pracę na co najmniej kilkanaście lat. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że podobne "tendencje" obserwuje się także zagranicą krajach Europy czy Azji (Ukraina, Chiny, Indie, Indonezja), gdzie pokłady cienkie stanowią zdecydowaną większość bazy zasobowej. Mając na uwadze kurczące się zasoby węgla kamiennego sięgnięcie po węgiel w pokładach cienkich będzie nieuniknione. Kurczące się zasoby węgla kamiennego w obszarach o dogodnych warunkach górniczo - geologicznych sprawiają, że kopalnie modyfikują swoje plany ruchu na najbliższe lata, uwzględniając eksploatację cienkich pokładów węgla [1, 2].

Eksploracja pokładów cienkich w praktyce napotyka na szereg trudności w postaci barier technicznych, ergonomicznych oraz ekonomicznych. Dotyczą one zwłaszcza ścian kombajnowych, gdzie wymagana jest obecność ludzi w ścianie, a podstawowym problemem pracowników jest kwestia ograniczonej przestrzeni roboczej w wyrobisku ścianowym. Problemy techniczne i organizacyjne są największe przy uruchamianiu czy likwidacji wyrobiska ścianowego, gdy potrzeba przetransportować maszyny i urządzenia o masie kilkudziesięciu Mg. Utrudnienia wynikające z bardzo małej przestrzeni roboczej powodują

spowolnienie pracy załogi, zmniejszenie ich wydajności, co w rezultacie prowadzi do spadku dyspozycyjnego czasu pracy ściany.

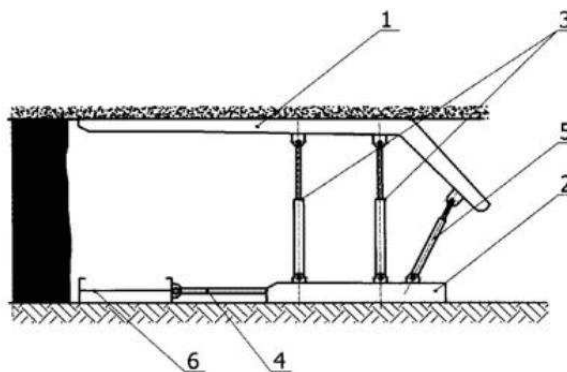
Tematyka eksploatacji pokładów cienkich jest obecnie głównym obiektem zainteresowań producentów oraz użytkowników zmechanizowanych kompleksów ścianowych. Wynika to z faktu, że wzrost koncentracji wydobywania z pokładów cienkich jest ściśle powiązany z konstrukcją, odpowiednio przystosowanych do tych trudnych warunków, maszyn zmechanizowanego kompleksu ścianowego. Biorąc pod uwagę postać i charakter opisywanych wyżej problemów towarzyszących prowadzeniu niskich ścian wydobywczych, zwłaszcza ścian kombajnowych, można, a nawet trzeba powiązać kwestię ich rozwiązania z konstrukcją innowacyjnej obudowy zmechanizowanej. 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 obudowy zmechanizowanej do pokładów cienkich.

Obecnie w wyrobiskach ścianowych, także w ścianach niskich, powszechnie stosowane są obudowy podporowo – osłonowe. W obudowach tych stropnica jest połączona przegubowo ze spągnicą za pomocą osłony odzawałowej oraz przednich i tylnych łączników. W przypadku pokładów cienkich taka struktura kinematyczna oraz charakterystyczne pochylenie stojaków skutkuje zmniejszeniem powierzchni strefy przejścia. W wyniku tego załoga ma duże trudności w poruszaniu się w ścianie, utrudnione jest też przewietrzanie wyrobiska, a tym samym pogorszenie warunków klimatycznych w przestrzeni eksploatacyjnej.

Mając na uwadze powyższe uwarunkowania, wady i zalety aktualnie stosowanych obudów zmechanizowanych, presję na zmniejszenie kosztów produkcji, opracowano koncepcję obudowy zmechanizowanej nowego typu. Najważniejsze, przyjęte założenia konstrukcyjne to:

- zwiększenie powierzchni strefy przejścia,
- zwiększenie stosunku podporności obudowy do jej masy i uzyskanie odpowiednio wysokiej podporności obudowy,
- uproszczenie konstrukcji,
- zmniejszenie kosztów wykonania obudowy zmechanizowanej.

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.

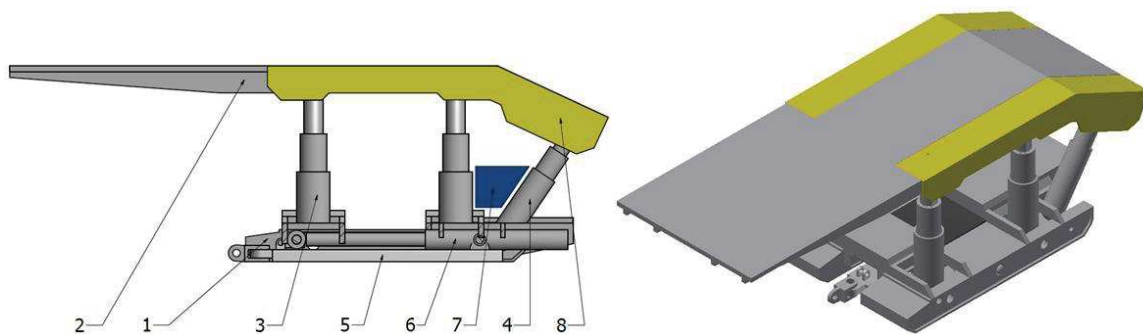


Rys. 1. Koncepcja obudowy nowego typu [4]

Zaletą przedstawionej struktury kinematycznej obudowy jest pionowy ruch stropnicy w cyklu rozpierania 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 zaliczyć wielkość strefy przejścia, uproszczenie konstrukcji poprzez wyeliminowanie układu zawieszenia w postaci łączników 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 obudowy z prowadzeniem lemniskatowym oraz walory klasycznej 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 przeprowadzono prace analityczne i badania modelowe, których celem było sparametryzowanie konstrukcji nowej, zmechanizowanej obudowy do pokładów cienkich. Opracowane wirtualne modele sekcji obudowy, pokazano na rysunkach 2 ÷ 3. Zaprezentowana postać konstrukcji sekcji obudowy jest wynikiem szczegółowych analiz, w tym badań wytrzymałościowych z wykorzystaniem MES [3, 6].

Symulacyjnej weryfikacji konstrukcji obudowy dokonano w oparciu o wymagania zawarte w normie PN - EN 1804 i dotyczące zwłaszcza asymetrycznego stanu obciążeń obudowy [3, 5, 6]. W modelu szczegółowym sekcji obudowy uwzględniono wszystkie niezbędne elementy konstrukcyjne potrzebne do współpracy obudowy z pozostałymi maszynami kompleksu ścianowego. Dodatkowo sekcję obudowy wyposażono w elementy konieczne do przeprowadzania badań stanowiskowych np. modyfikacje konstrukcji stojaków w celu instalacji czujników przemieszczenia, ciśnienia etc.

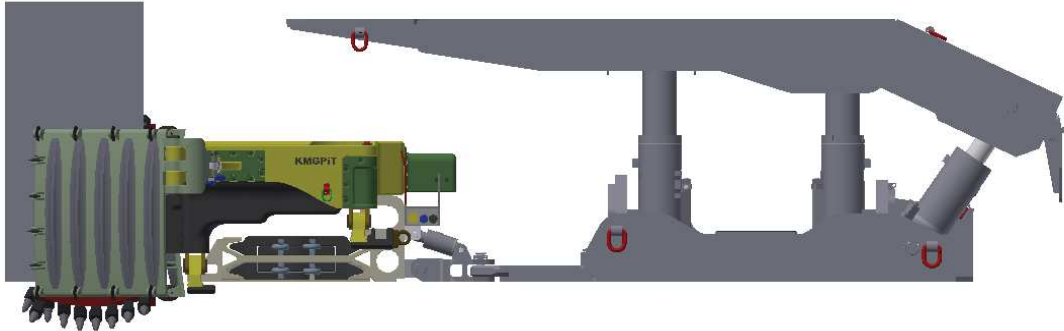


Rys. 2. Podstawowe elementy obudowy nowego typu:

- 1 - spągnica, 2 - stropnica, 3 - stojak, 4 - stojak zastrzałowy, 5 - belka przesuwu, 6 - siłownik przesuwu, 7 - strefa lokalizacji układu sterowania, 8 - osłona boczna

Zgodnie z przyjętymi założeniami sekcję obudowy zaprojektowano jako sekcję złożoną z czterech głównych stojaków o wewnętrznej średnicy cylindra $\varnothing 210$ i dwóch stojaków zastrzałowych o wewnętrznej średnicy cylindra $\varnothing 200$. Stojaki główne zachowują prostopadłość osi do powierzchni stropu i spągu w czasie rozpierania i rabowania sekcji, natomiast tylne stojaki są nachylone w stosunku do płaszczyzny poziomej i kompensują

reakcje wywołane poziomymi siłami tarcia. Taka kinematyka obudowy umożliwiła lokalizację strefy przejścia w obszarze pomiędzy stojakami głównymi obudowy. Zastosowano stojaki jednoteleskopowe, aby umożliwić w nich montaż przetworników drogi. 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 tzn. układzie kaskadowym (przestawnym). Sekcję wykonano w podziałce 1,5 m. Zakres roboczy sekcji mieści się w przedziale $1,1 \div 1,5$. Całkowita długość stropnicy wynosi 4465 mm.



Rys. 3. Wirtualny model obudowy nowego typu w układzie OPK (obudowa - przenośnik - kombajn) w fazie przekładki obudowy

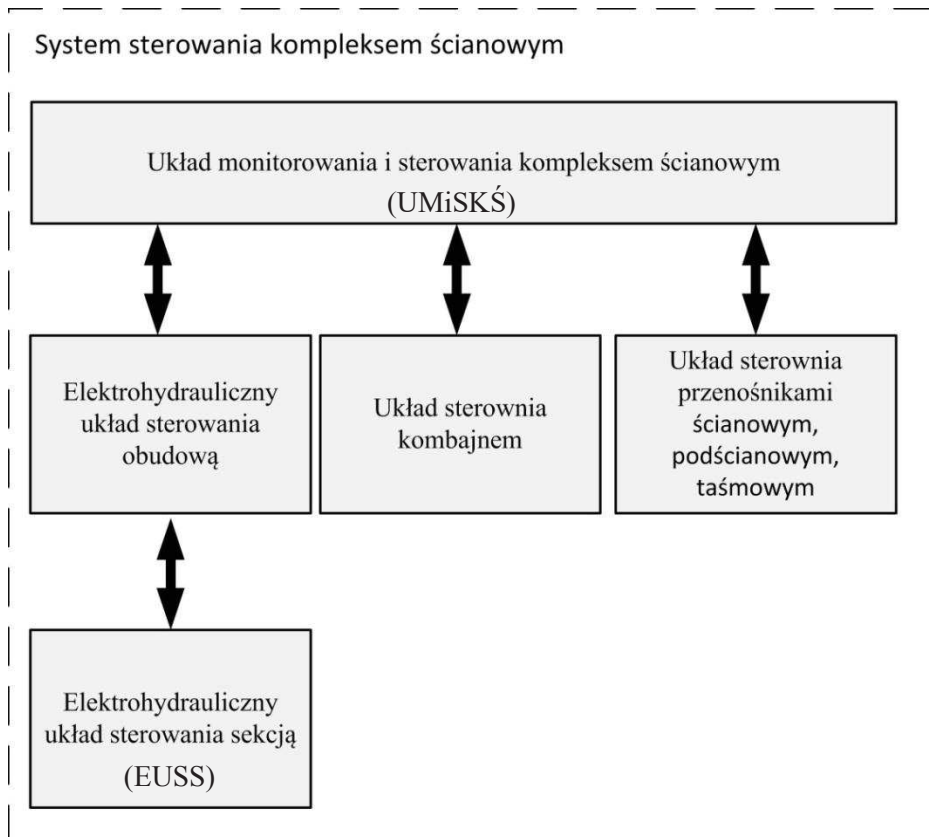
2. Koncepcja układu sterowania i automatyki

Z założenia projektowana sekcja obudowy jest przeznaczona do pracy automatycznej, a jej układ sterowania musi współpracować z automatyką całego kompleksu ścianowego. Ponieważ obecnie na rynku istnieją systemy automatycznego sterowania kompleksami kombajnowymi, korzystnym jest aby projektowany układ sterowania sekcją obudowy do pokładów cienkich mógł współpracować z takim systemem. Układ sterowania zmechanizowaną obudową nowego typu musi zapewnić zarówno sterowanie lokalne obudową, jak i sterowanie zdalne ze zintegrowanego stanowiska sterowania i wizualizacji. Operator zdalnie nadzoruje pracę całego kompleksu i pojedynczych jego elementów. Powinien mieć dane o stanie każdej sekcji obudowy, a także mieć możliwość zdalnego jej sterowania. Obiektem sterowania jest sekcja obudowy pokazana na rysunku 2. Jak widać sekcja obudowy jest złożona ze stropnicy podpartej czterema stojakami oraz dwoma stojakami zastrzałowymi. Przyjęto następujące założenia jakie musi spełniać układ sterowania sekcją obudowy:

1. Czas pełnego cyklu przestawienia sekcji obudowy do 10 s.
2. Kontrola prostopadłości siłowników do spągnicy i stropnicy,
 - a. Nachylenie poprzeczne względem spągu $\pm 3^\circ$,
 - b. Nachylenie podłużne względem spągu $\pm 3^\circ$,
 - c. Nachylenie poprzeczne spągnicy względem stropnicy $\pm 5^\circ$,
 - d. Nachylenie podłużne spągnicy względem stropnicy $\pm 5^\circ$,
3. Realizacja podporności przy ciśnieniu zasilania do 30 MPa.
4. Realizacja przemieszczenia wynikająca z ograniczeń konstrukcyjnych.
5. Zabiór stały dla danej ściany.

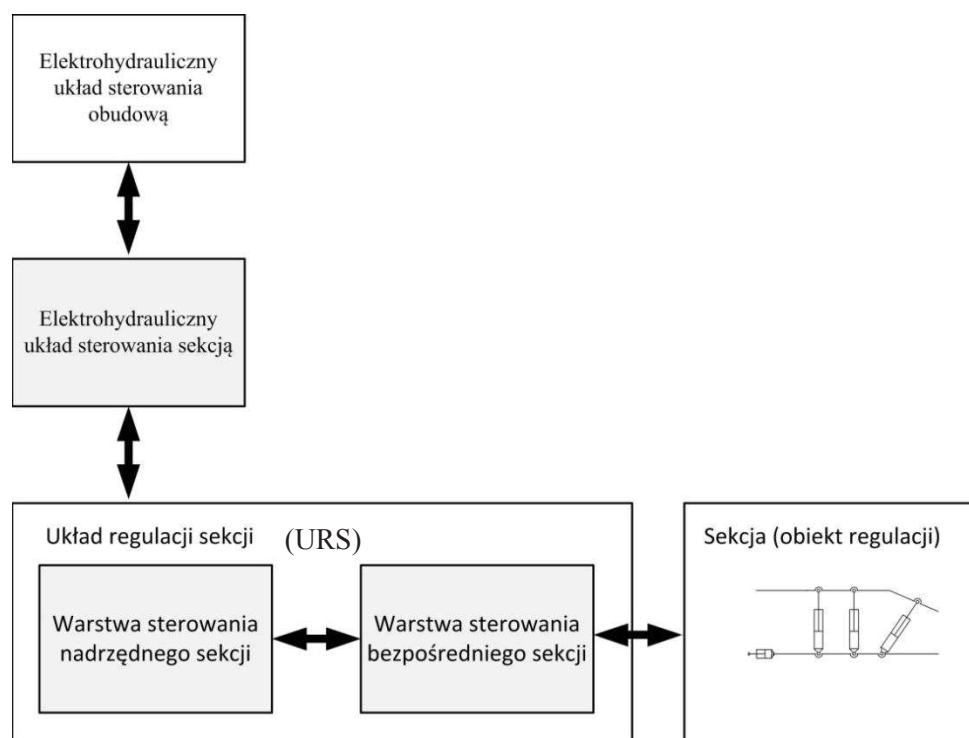
6. Układ sterowania ma możliwość realizacji niepełnego zabioru.
7. Liczba funkcji sekcji obudowy analogiczna do aktualnie istniejących.
8. Iskrobezpieczność.

Układ sterowania pracą sekcji obudowy nowego typu do pokładów cienkich ma zapewnić jej pracę w cyklu ręcznym i automatycznym we współpracy z układami nadrzędnymi, które sterują i nadzorują pracą całego kompleksu ścianowego. Na rysunku 4 pokazano strukturę blokową systemu sterowania kompleksem ścianowym. Składa się on z warstwy nadrzędnej, na rysunku nazwanej „Układ monitorowania i sterowania kompleksem ścianowym” (UMiSKŚ) oraz warstwy podrzędnej w skład której wchodzi poszczególne elementy kompleksu ścianowego. Warstwa nadrzędna ma za zadanie nadzór i sterowanie całym kompleksem. Jest ona wyposażona w układ monitorowania dzięki czemu operator na bieżąco śledzi pracę całego kompleksu. Każdy z elementów kompleksu (obudowa, kombajn, przenośniki, wyposażenie dodatkowe) przesyła informacje o swoim stanie do warstwy nadrzędnej. Operator obserwując stan kompleksu może go zatrzymać lub uruchomić w całości lub sterować poszczególnymi jego elementami. Dlatego każdy z elementów kompleksu ma linie komunikacyjne łączące go z UMiSKŚ. Strukturę układu zamieszczono na rysunku 4, gdzie pokazano drogi przepływu danych. Widać, że z UMiSKŚ przesyłane są dane do układu sterowania kombajnem, do układu sterowania przenośnikami oraz elektrohydraulicznego układu sterowania obudową, który złożony jest z sieci sterowników sekcyjnych. Każdy taki sterownik jednej sekcji to „Elektrohydrauliczny układ sterowania sekcją” (EUSS). Przykładem takiego sterownika jest system sterowania obudową DPS-200. Obecnie produkowane systemy EUSS są przystosowane do klasycznych obudów i nie nadają się do sterowania projektowaną obudową do pokładów cienkich. Dlatego w ramach prac prowadzonych opracowano specjalistyczny układ regulacji sekcji do niskich pokładów.



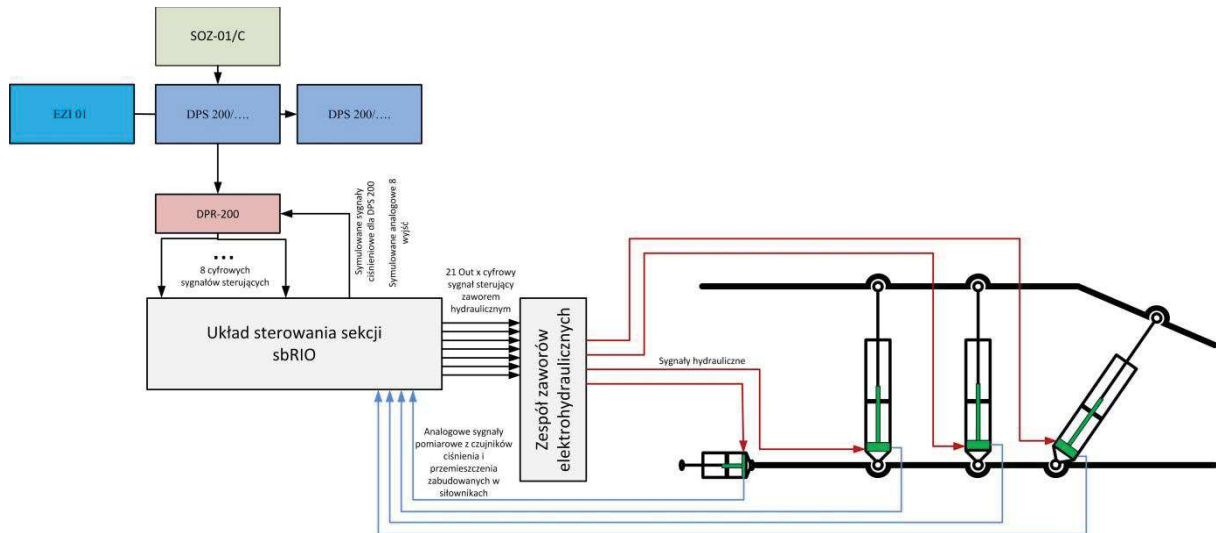
Rys. 4. System sterowania kompleksem ścianowym

Układ regulacji sekcji (URS) będzie współpracował z EUSS, jak pokazano na schemacie blokowym zamieszczonym na rysunku 5. Na przedstawionym schemacie widać, że układ EUSS, który w przypadku standardowej obudowy steruje bezpośrednio sekcją, w tym przypadku jest podłączony do URS. Układ URS może być elementem zewnętrznym, jak pokazano na rysunku 5 lub elementem wewnętrznym EUSS innymi słowy może być całkowicie zintegrowany z EUSS. URS to regulator, który bezpośrednio steruje sekcją obudowy na podstawie sygnałów otrzymanych z EUSS. Takie rozwiązanie zapewnia kompatybilność z już istniejącymi systemami sterowania kompleksami ścianowymi i jednocześnie zapewnia poprawne sterowanie innowacyjną obudową do pokładów cienkich. Wszystkie cechy i funkcjonalności systemu ścianowego pozostają niezmienione, co umożliwi przyspieszenie prac wdrożeniowych.



Rys. 5. Schemat blokowy nowego układu sterowania sekcją

Pokazany na rysunku 5 URS składa się z warstwy sterowania nadrzędnego i warstwy sterowania bezpośredniego. Układ regulacji sekcji jest zintegrowany z obudową poprzez sygnały pomiarowe i sterujące, jak schematycznie pokazano na rysunku 6. Na rysunku tym schematycznie przedstawiono rozmieszczenie przetworników pomiarowych w jednej sekcji. Są to przetworniki przemieszczenia zabudowane w siłownikach oraz czujniki ciśnienia.

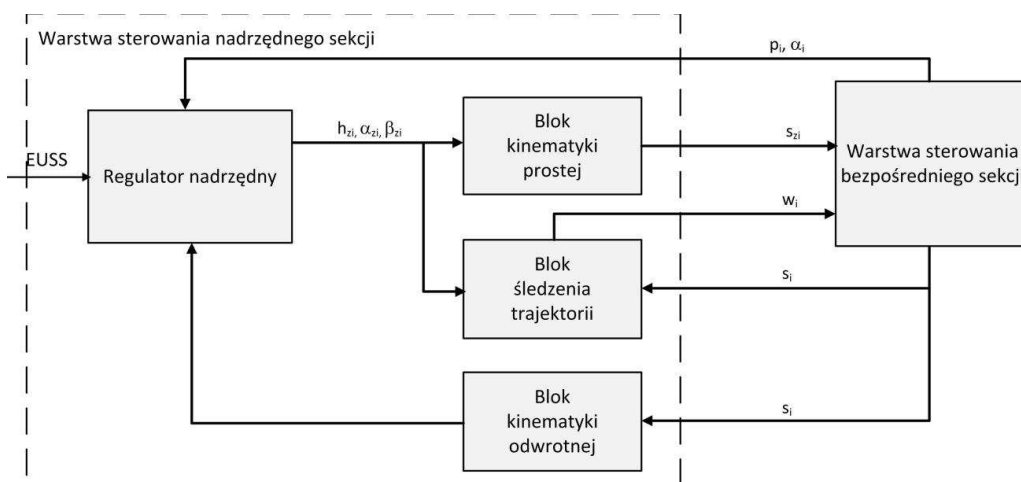


Rys. 6. Schemat układu pomiarowo-sterującego sekcji

Warstwa sterowania nadrzędnego

Ze sterownika EUSS warstwa sterowania nadrzędnego otrzymuje sygnały/rozkazy sterujące np. rabowaniem sekcji, rozpieraniem sekcji, itd. a zwrótnie EUSS otrzymuje informacje o stanie sekcji. Warstwa ta interpretuje sygnały otrzymane z EUSS i wyznacza wartości zadane dla warstwy sterowania bezpośredniego. Warstwa sterowania nadrzędnego sekcji składa się z:

- regulatora nadrzędnego,
- bloku kinematyki prostej,
- bloku śledzenia trajektorii,
- bloku kinematyki odwrotnej.



Rys. 7. Schemat blokowy warstwy sterowania nadrzędnego sekcji

Regulator nadrzędny

Regulator nadrzędny (rys. 7), na podstawie sygnałów otrzymanych z EUSS z uwzględnieniem kinematyki obudowy, wyznacza wartości zadane dla regulatorów warstwy sterowania bezpośredniego, monitoruje pracę regulatora bezpośredniego oraz generuje wartości korekcyjne. Regulator ten ma do realizacji różne zadania: rabowanie, rozpieranie, uzyskanie podporności, korekcja położenia obudowy itd. W trakcie pracy przełącza się między tymi zadaniami zgodnie z sygnałami sterującymi z EUSS oraz aktualnego stanu obudowy. Regulator ten realizuje także procedury bezpieczeństwa, takie jak stop awaryjny oraz detekcja i sygnalizacja stanów awaryjnych.

Blok śledzenia trajektorii

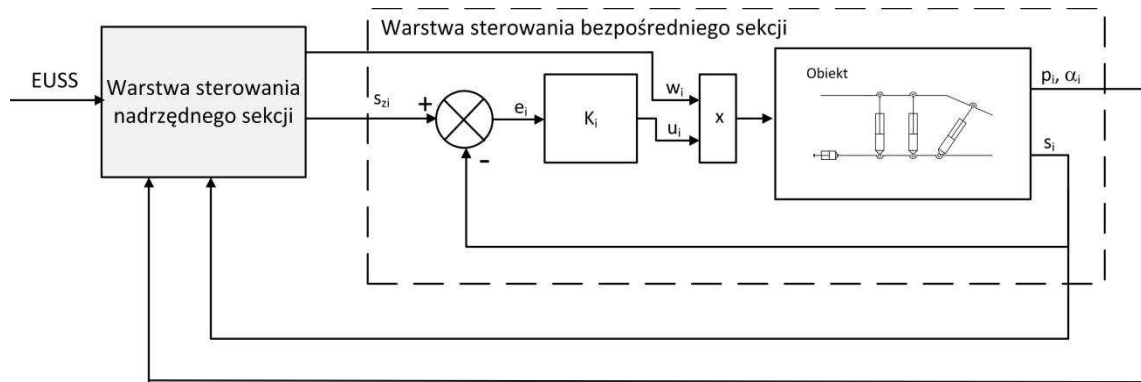
Blok śledzenia trajektorii służy do monitorowania stanu sekcji obudowy w trakcie rabowania i rozpierania. Blok ten dokonuje korekty nierównomiernego wysunięcia siłowników. Na podstawie analizy wysunięcia siłowników i zmierzonego ciśnienia ustala wiodący siłownik. W przypadku rozpierania jest to najbardziej wysunięty siłownik, a w przypadku rabowania najmniej wysunięty siłownik. Sprawdza wysunięcie pozostałych siłowników względem siłownika wiodącego. Jeśli różnica wysunięcia przekroczy zadaną wartość siłownik wiodący zostaje zatrzymany. Po zmniejszeniu różnicy wysunięcia do dopuszczalnego zakresu blok ten włącza siłownik wiodący do normalnej pracy.

Blok kinematyki odwrotnej

Sekcją obudowy sterują dwa zestawy siłowników oznaczone literami L, P odpowiednio lewe i prawe stojaki. Każdy z zestawów jest złożony z trzech siłowników: dwóch stojaków oraz siłownika zastrzałowego. Stan sekcji obudowy w ogólnym przypadku opisano przez trzy parametry związane z każdym zestawem siłowników, h_L, α_L, β_L związane z zestawem L oraz h_P, α_P, β_P odpowiadające zestawowi P. Parametry h, α, β oznaczają odpowiednio wysokość sekcji obudowy, uśredniony kąt nachylenia stojaków względem pionu oraz nachylenie stropnicy względem spągnicy. Blok ten na podstawie zmierzonych sygnałów i modelu kinematyki odwrotnej obudowy wyznacza sygnały dla regulatora nadrzędnego opisujące stan obudowy.

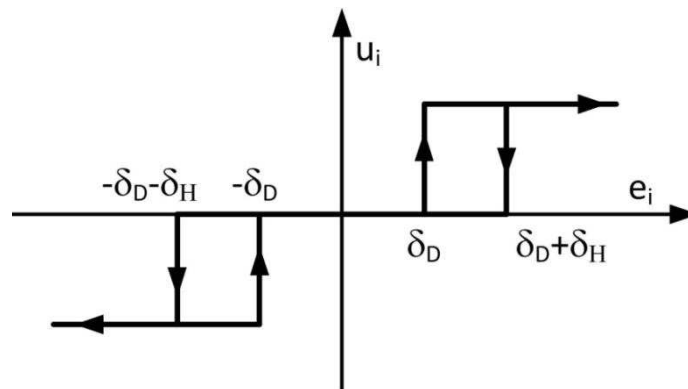
Warstwa sterowania bezpośredniego

Warstwa sterowania bezpośredniego (rys. 8) to część układu regulacji sekcji (rys. 6), która na podstawie sygnałów z części nadrzędnej realizuje sterowanie zaworami hydraulicznymi w celu wykonania określonych funkcji. Ta warstwa sterowania jest odpowiedzialna za pomiary i generowanie sygnałów sterujących. W tej warstwie na podstawie zmierzonych przemieszczeń siłowników hydraulicznych p_i , kątów α_i oraz wartości zadanych s_{zi} , wyznaczone są sygnały sterujące u_i , które sterują bezpośrednio zaworami hydraulicznymi sekcji.



Rys. 8. Schemat blokowy warstwy sterowania bezpośredniego sekcji

Na schemacie blokowym przedstawionym na rysunku 8 pokazano obiekt (pojedyncza sekcja), regulatory K_i , gdzie indeks i oznacza numer stojaka. Regulator K_i na podstawie uchybu e_i oraz funkcji przedstawionej na rysunku 9 wyznacza sygnał sterujący u_i . Sygnał ten jest mnożony przez w_i z regulatora nadrzędnego. Dzięki takiej strukturze, regulator nadrzędny, może nadzorować pracę całej obudowy i w zależności od potrzeb korygować sterowanie warstwy sterującej. Zastosowanie strefy nieczułości ma na celu zmniejszenie ilości przełączeń generowanych przez regulator. Dzięki tej strefie rozdzielacze hydrauliczne będą sterowane tylko po zwiększeniu uchybu do wartości wykraczającej poza strefę nieczułości oczywiście w takim przypadku pogarsza się dokładność sterowania, jednak głównym celem sterowania nie jest osiągnięcie pozycji a podporności. Pętle histerezy na krańcach strefy nieczułości mają na celu dodatkowe odfiltrowanie zakłóceń pomiarowych.



Rys. 9. Regulator z strefą martwą oraz histerezą

3. Podsumowanie

Zasadniczym założeniem dla konstrukcji sekcji zmechanizowanej obudowy nowego typu jest wykorzystanie do realizacji poszczególnych cykli jej pracy elektrohydraulicznego systemu sterowania pracującego automatycznie lub półautomatycznie. Takie podejście wynika ze specyficznej struktury kinematycznej sekcji oraz liczby zastosowanych siłowników hydraulicznych (stojaków). Zgodnie z przyjętymi założeniami zastosowanie automatycznego systemu sterowania gwarantuje kontrolę ruchu sekcji obudowy poprzez kontrolę przemieszczenia stojaków. Dzięki temu zapewniona jest prostopadłość stojaków głównych do

spągnicy, a co za tymi idzie maksymalna podporność obudowy oraz równoległość stropnicy do spągnicy w czasie rabowania i rozpierania obudowy. Ponieważ aktualnie w zmechanizowanych obudowach ścianowych stosowane są złożone układy automatycznego sterowania całym kompleksem postanowiono wykorzystać już opracowane układy. Ze względu na fakt, że bezpośrednia adaptacja tych rozwiązań jest niemożliwa zdecydowano o wprowadzeniu dodatkowego modułu sterującego mającego na celu realizację algorytmów sterowania dostosowanych do specyficznej struktury kinematycznej nowej obudowy. Dzięki temu dalsze prace badawcze skoncentrowano na opracowaniu algorytmów sterowania obudową oraz syntezą układu sterowania, a standardowe funkcje obudowy realizowano w oparciu o dostępne na rynku elementy sterowania kompleksem ścianowym.

Projekt zrealizowano w ramach Programu Badań Stosowanych finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

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 1804-1:2004. Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudów zmechanizowanych. Części I - III
- [6] Krauze K., Rączka W., Stopka G.: Zmechanizowana obudowa nowego typu do pokładów cienkich. *Maszyny Górnicze* 4/2016