

Innovative Hydraulic Roof Support for Low Seams

One of the basic problems of Polish 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 mining conditions and the characteristics of powered hydraulic roof supports. According to this, in the Department of Mining, Dressing and Transport Machines at the AGH University of Science and Technology, Krakow/Poland, the research was undertaken in the 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 and the conception for a structure of a control system are presented. Research in this field was conducted for 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).

Vollmechanischer Strebausbau neuen Typs für dünne Flöze

Ein grundlegendes Problem im Untertagebergbau in Polen tritt beim Abbau von geringmächtigen Flözen auf. Die größten Schwierigkeiten stellen die extrem schwierigen Verhältnisse des Betriebs und die Bedienung der Maschinen dar, die zum größten Teil aus den geologischen Bedingungen sowie der Charakteristik des aktuell verwendeten vollmechanischen Strebausbaus resultieren. Vor diesem Hintergrund wurden am Lehrstuhl für Bergwerks-, Aufbereitungs- und Transportmaschinen an der Wissenschaftlich-Technischen Universität (AGH) in Krakau/Polen Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines neuartigen vollme-

chanischen Strebausbaus für den Betrieb in dünnen Flözen aufgenommen. Im vorliegenden Artikel werden konzeptionelle, virtuelle Modelle eines neuen, vollmechanischen Ausbaus für dünne Flöze sowie die Grundannahmen für das Steuerungssystem des Ausbaus dargestellt. Die Forschungsarbeiten sind im Rahmen des Projekts „Studien- und Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines vollmechanischen Ausbaus neuen Typs für dünne Flöze“ zustande gekommen. Das Projekt wurde vom Nationalen Zentrum für Forschung und Entwicklung (NCBiR) gefördert.

1 Introduction

Thin seams of a thickness below 1,5 m are critical for energetic security in Poland. The participation of thin seams in hard coal resources of Polish mines accounts for nearly 16,5%, which results in 659 mt of coal. Taking into consideration the dwindling hard coal resources, it will be inevitable to opt for coal in thin seams. Some sources estimate the reserves of thin seams coal to be approximately of about 1 bn t, which will guarantee continuous mining operation for Polish mines at their present exploitation capacity for at least more than ten years. It is noticeable that similar tendencies can be observed in some countries in Europe or Asia such as Ukraine, China, India or Indonesia, where thin seams constitute a vast majority of the resources basis. Up to now, only 2% of the general number of longwall faces have covered thin seams. However, the dwindling hard coal resources in the areas of favourable mining-geological conditions cause that mines are modifying their operation strategies for the nearest years with respect to the exploitation of thin coal seams (1, 2).

The subject of thin seams exploitation is not easy however, and in reality it encounters several problems such as technical,

1 Einleitung

Geringmächtige Flöze, also solche mit einer Mächtigkeit unter 1,5 m, haben eine strategische Bedeutung für die energetische Sicherheit Polens. Der Ressourcenanteil dünner Flöze der polnischen Steinkohlenbergwerke beträgt fast 16,5%, was insgesamt 659 Mio. t Steinkohle ergibt. Unter Berücksichtigung der schrumpfenden Steinkohlenvorräte scheint der Abbau von Steinkohle in geringmächtigen Flözen unabdingbar zu sein. Manche Quellen schätzen diese Steinkohlenvorräte auf fast 1 Mrd. t, was für die polnischen Steinkohlenbergwerke bei ihren aktuellen Abbaumöglichkeiten den ununterbrochenen Betrieb für mindestens zehn Jahre sichern würde. Es ist bemerkenswert, dass bei einigen europäischen und asiatischen Ländern – Ukraine, China, Indien, Indonesien – Ähnliches zu beobachten ist. Bis vor Kurzem betrug der Anteil von Gewinnungsbetrieben in dünnen Flözen lediglich 2% der Gesamtstrebanzahl. Die schrumpfenden Steinkohlenvorräte in Gebieten mit günstigen geologischen und bergtechnischen Verhältnissen führen dazu, dass die Bergwerke ihre Betriebspläne für die nächsten Jahre modifizieren, indem sie auch den Abbau geringmächtiger Flöze einbeziehen (1, 2).

ergonomic, and economic barriers. They refer mainly to combined longwalls where human presence is required at the site, and the most important problem is the issue of limited workspace in the longwall roadways. It generates engineering and organizational problems, especially during the launch and removal of the longwall roadways. Then problems of transportation and mounting of the machineries and equipment of a weight of at least several tens tonnes occur. Difficulties resulting from highly limited workspace affect slow advance of the working team, bring about lower productivity of human labour at the longwall which results in the decrease of the projected labour time at the site. Climate conditions connected with roadways ventilation also become worse due to the decreasing intersection of the roadways. The limited workspace brings about serious problems related to work safety and ergonomics in the low longwall. The basic problems resulting from specific and difficult conditions of thin seams exploitation affect the ergonomic outcome of the enterprise, which is deciding. Because of lack of profitability of thin seams extraction, such exploitation is often abandoned.

Taking into consideration the nature of the above mentioned problems occurring for sites of low exploitation longwalls, especially combined longwalls, their solution should be sought for while developing new machines and equipment which would be better adjusted to such working conditions. As refers to destination and role of the powered longwall support, the characteristics of its structure to a larger extent determines technical, ergonomic and economic preconditions for low exploitation longwalls. Having considered the above mentioned, the Department of Mining, Dressing and Transport Machines of the AGH University of Science and Technology in Krakow/Poland, has begun research whose main objective is the development and testing of a new structure of powered support for thin seams. In this article selected matters from the first stage of the research project have been mentioned. Among others, assumptions for the structure of the support as well as the conception of the control system have been presented.

2 Support conception for thin seams

At present in longwalls as well as in low longwalls the most common are shield-type standing powered supports. A characteristic feature of such supports is an articulated joint of the roof-bar with the ground brace by means of the protective roof-fall shield and the front and rear connector. In conditions of exploitation of thin seams the kinematic structure of shield-type standing supports constitutes an essential issue for the improvement of ergonomics and work safety of miners at the longwall. The characteristic inclination of props results in the decrease of intersection of the communication passage area. It leads not only to difficulties of getting around for the working team but also deterioration of climate conditions in the workspace, which brings about problems with roadways ventilation. In addition to the increase of internal forces it is necessary to reinforce the resistance of fundamental elements of the section, which is related to the support mass and cost of its production.

Taking into consideration exploitation conditions of thin seams as well as drawbacks of the presently used powered supports in the Department of Mining, Dressing and Transport Ma-

Dieses Vorhaben ist jedoch nicht einfach und stößt in der Praxis auf eine ganze Reihe von technischen, ergonomischen und wirtschaftlichen Problemen. Das gilt insbesondere für Betriebe mit schneidender Gewinnung, bei denen im Streb Bergleute präsent sein müssen, und die Frage eines beschränkten Arbeitsraums zum größten Problem wird. Daraus ergeben sich technische und organisatorische Schwierigkeiten, besonders während der Anlaufphase oder der Beendigung eines Gewinnungsbetriebs. Hier gibt es Probleme beim Transport und beim Einbau von Maschinen und Anlagen mit sehr großen Gewichten. Die Behinderungen, die aus dem beschränkten Arbeitsraum resultieren, führen zur Verlangsamung der Vorgänge und zur Verringerung der Arbeitsproduktivität, was im Endeffekt ein Absinken der zur Verfügung stehenden Arbeitszeit im Streb bedeutet. Auch die Klimaverhältnisse, die mit der Bewetterung des Strebs zusammenhängen, verschlechtern sich mit der Verringerung des Querschnitts. Der beschränkte Arbeitsraum verursacht in der Folge ernsthafte Probleme sowohl in Bezug auf die Arbeitssicherheit als auch auf die personenbezogene Ergonomie. Diese Probleme beeinflussen das wirtschaftliche Ergebnis des Unternehmens entscheidend. Wegen der fehlenden Rentabilität werden dünne Flöze häufig nicht abgebaut.

Die Lösung der Probleme, die den Betrieb von niedrigen Streben begleiten, insbesondere bei Walzenladerstreben, besteht in der Entwicklung neuer Maschinen und Anlagen, die besser an die Arbeitsverhältnisse angepasst sind. Die Konstruktionsspezifika hängen weitgehend mit den technischen, ergonomischen und wirtschaftlichen Bedingungen in niedrigen Streben zusammen. Vor diesem Hintergrund wurde am Lehrstuhl für Bergwerks-, Aufbereitungs- und Transportmaschinen an der Wissenschaftlich-Technischen Universität (AGH) in Krakau/Polen mit Forschungsarbeiten begonnen, um einen neuen vollmechanischen Strebausbau für dünne Flöze zu entwickeln und zu testen. Der vorliegende Beitrag behandelt ausgewählte Fragen, die im Rahmen der ersten Projektphase aufgegriffen wurden, darunter die Annahmen zur Konstruktion dieses Strebausbaus sowie das Konzept seines Steuerungssystems.

2 Konzept des Strebausbaus für dünne Flöze

Zurzeit wird auch in niedrigen Streben allgemein Bockschildausbau eingesetzt. Ein charakteristisches Merkmal dieses Ausbaus ist eine gelenkige Verbindung von Kappe und Kufe mithilfe eines Bruchschilds. Beim Abbau von dünnen Flözen stellt die kinematische Struktur des Bockschildausbaus ein wesentliches Problem für die Ergonomie und Arbeitssicherheit im Streb dar. Die charakteristische Neigung der Stempel verursacht eine Verringerung des Querschnitts in der Durchgangszone. Die Folge ist nicht nur die Einschränkung der Bewegungsfreiheit der Belegschaft im Streb, sondern auch die Verschlechterung der Klimaverhältnisse im Abbauraum. Wegen des Anstiegs von inneren Kräften ist es auch notwendig, die Haltbarkeit der Komponenten des Schreitausbaus zu erhöhen, was in der Folge sein Gewicht sowie die Kosten seiner Fertigung beeinflusst.

Unter Berücksichtigung der Verhältnisse beim Abbau von dünnen Flözen wie auch der Mängel des aktuell verwendeten vollmechanischen Ausbaus konzentrierten sich die Forschungsarbeiten auf ein Konzept für einen vollmechanischen Ausbau,

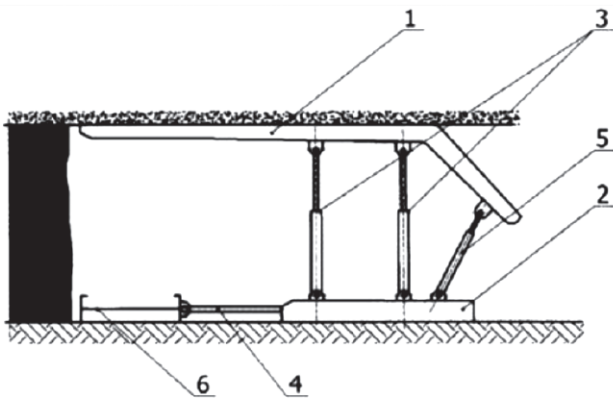


Fig. 1. Conception of a new type of support – option 1 (4).
Bild 1. Konzept des Ausbaus neuen Typs – Variante 1 (4).

chines a conception for a new type of powered support has been developed. In comparison to the presently applied supports it offers a larger passage area, a bigger ratio of support load-bearing capacity to its mass and the decrease of basic elements. Compared to the nowadays applied powered supports, this one will improve ergonomics and work safety as well as climate conditions in the workspace.

Figure 1 shows the conception of the support in a simplified diagram (4). The resolution consists in connection of basic section elements, i. e. the roof bar 1 and ground brace 2, by means of hydraulic props 3 and one or more angle brace cylinders 5, whereas an advancing cylinder 4 connects the ground brace 2 with the conveyor shut 6. The hydraulic elements are assembled with joints.

An advantage of the presented kinematic structure is the vertical movement of the roof bar in the turnaround of the spanning and withdrawing of the support, which nearly eliminates tangents to the friction area of the roof bar. The jointed connection of props and cylinders with the roof bar and ground brace considerably eliminates the occurrence of bending moments, especially in the turnaround of the support transfer. One of the essential advantages of this solution is the size of the passage area which is bigger than in the hitherto exploited supports, as well as simplification of the structure resulting from elimination of the lemniscates system and conventional roof fall shield. In comparison to the presently applied shield-type standing powered supports, also the length of the roof bar will be shorter, which will affect the decrease of loads which the support structure bears, consequently it will allow for application of supports of smaller overall dimensions. All in all, the resolution combines virtues of the support with lemniscates handling as well as the advantages of the conventional standing support, which in the context of the present exploitation problems of thin coal seams, is becoming a solution of essential utility. On the basis of the presented, simplified, projected diagram modelling research started. Its objective was to establish parameters the structure of the new powered support dedicated for thin seams. An example of viral models of the support is shown in figure 2.

The presented image of the structure of the support section is the result of detailed analyses, with resistance research with the use of the Finite Elements Method among others. A simulated revision of the support structure has been conducted according

der sich im Vergleich durch eine größere Durchgangszone, ein erhöhtes Verhältnis des Ausbauwiderstands zu seiner Masse sowie durch eine Verringerung der Anzahl von Komponenten auszeichnet, was sowohl die Ergonomie als auch die Arbeitssicherheit und die Klimaverhältnisse im Streb verbessert.

Das Konzept des Ausbaus zeigt schematisch Bild 1 (4). Das Wesentliche der Neuentwicklung besteht darin, dass die Grundbestandteile des Schreitausbaugesells, also Kappe 1 und Kufe 2, durch Hydraulikstempel 3 und durch einen oder mehrere stabilisierende Zylinder 5 miteinander verbunden sind. Der Rückzylinder 4 verbindet die Kufe mit dem Förderer 6. Die hydraulischen Bestandteile werden angelenkt.

Ein Vorteil der dargestellten kinematischen Struktur ist die vertikale Bewegung der Kappe im Setz- und Raubkreislauf des Ausbaus, was tangentielle Reibungskräfte an der Kappenoberfläche praktisch verhindert. Die Gelenkverbindung der Stempel mit Kappe und Kufe eliminiert zum großen Teil die Entstehung von Biegemomenten, besonders beim Rücklauf des Ausbaus. Zu den entscheidenden Vorteilen der neuen Entwicklung gehören die vergrößerte Durchgangszone sowie die Vereinfachung der Konstruktion durch den Wegfall des Lemniskatensystems und des klassischen Bruchschilds. Im Vergleich zum derzeit verwendeten Bockschildausbau wird auch die Kappe verkürzt, was zur Reduktion der Belastungen beiträgt, die auf die Ausbaueinheiten wirken. Dies ermöglicht die Verwendung von Ausbaueinheiten mit kleineren Maßen. Zusammenfassend kann man sagen, dass die beschriebene Lösung die Vorteile des Ausbaus mit einer Lemniskatenführung mit den Vorteilen des klassischen Unterstützungsausbaus in sich vereinigt. Anhand des dargestellten vereinfachten Schemas wurden Modelluntersuchungen vorgenommen mit dem Ziel, die Konstruktion des neuen Ausbaus für dünne Flöze mit Parametern zu versehen. Bild 2 zeigt beispielhaft das Modell einer Ausbaueinheit.

Die dargestellte Form des Schreitausbaus ist das Ergebnis detaillierter Analysen, darunter Festigkeitsuntersuchungen unter Anwendung der Finite-Element-Methode. Die Simulation zur Verifizierung der Ausbaueinheit wurde aufgrund von Anforderungen vorgenommen, die in der Norm PN-EN 1804 beschrieben sind und die besonders einen Belastungszustand betreffen. Besondere Aufmerksamkeit galt der asymmetrischen Belastung des Ausbaus (3, 5). Im Modell wurden alle Bauelemente berücksichtigt, die notwendig in Bezug auf das Zusammenwirken des Ausbaus mit den anderen Elementen der Strebausrüstung sind,

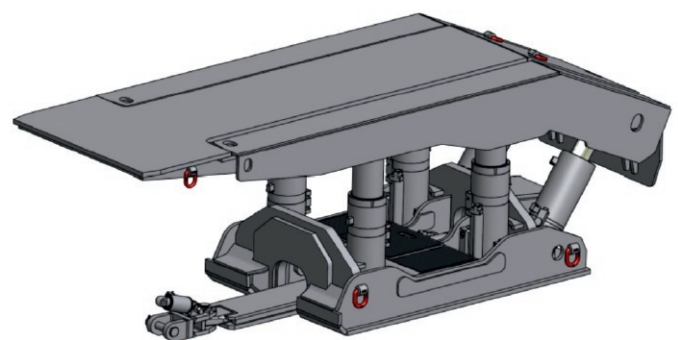


Fig. 2. Overview of the support 3D model.
Bild 2. 3D-Modell einer Ausbaueinheit.

to the requirements enclosed in the regulations of PN-EN 1804 concerning mainly the load state. A particular attention has been paid to the asymmetrical load of the support (3,5). The model of the support contains all structure elements which are indispensable for interaction of the support with other machines of the longwall complex as well as additional elements necessary for stationary research, e.g. modifications of prop structures in order to install movement sensors.

According to the approved assumptions the support section has been designed as a section consisting of four main props and two angle brace props. The same props maintain the axis perpendicularity to the area of the roof and floor during spanning and withdrawing the section, whereas rear props are inclined to the horizontal plane and compensate for reactions caused by horizontal forces of friction. The structure of ground brace was designed in the shape of catamaran, whereas the roof bar is developed as lineal roof bar with a fold (collapse) in the fall (caving, folding) part. The section was equipped with the shifting system which will make it possible to realize the turnaround of the support work without the „step backwards“. The section was developed in the scale of 1,5 m. The operating range of the section is between 1,1 and 1,5 m. The overall length of the roof bar is 4,465 mm.

3 Conception of the control system

The innovative powered support structure of the new type requires several operation turnarounds of the hydraulic control system for realization. It is related to the specific kinematic structure of the section and the number of applied hydraulic props. The application of the automatic control system should guarantee movement monitoring so that perpendicularity of the props to the ground brace as well as the simultaneous parallelism of the roof bar to the ground brace during the support spanning and withdrawing should be maintained. At present in powered longwall supports complex systems of automatic control are applied. However their direct adaptation to the solution in question is impossible mainly due to the necessity of application of the dedicated control algorithms adjusted to the specificity of kinematic structure of the new support.

sowie zusätzliche Elemente, die Gegenstand von Untersuchungen auf dem Prüfstand sind, z.B. die Modifikation der Konstruktion von Stempeln zur Installation von Weggebern.

Gemäß den getroffenen Annahmen besteht das entworfene Schreitausbaugestell aus vier Haupt- und zwei Strebstempeln. Die Hauptstempel halten die Achse zur Oberfläche des Hangenden und des Liegenden während des Setz- und des Raubvorgangs senkrecht. Die hinteren Stempel dagegen sind in Bezug auf die Waagerechte geneigt und gleichen die von horizontalen Reibungskräften hervorgerufenen Reaktionen aus. Die Kappe wurde als sogenannte Linienkappe mit einem Knick im Bruchteil gefertigt. Der Schild wurde mit einem Hubsystem versehen, das die Ausführung eines Arbeitszyklus ohne „Schritt rückwärts“ ermöglicht. Er wurde mit einer Teilung von 1,5 gebaut. Der Arbeitsbereich des Ausbaus befindet sich zwischen 1,1 und 1,5 m. Die Gesamtlänge der Kappe beträgt 4,465 mm.

3 Konzept des Steuerungssystems und der Automatik

Die innovative Konstruktion erfordert zur Ausführung der einzelnen Arbeitszyklen ein elektrohydraulisches Steuerungssystem. Dies resultiert aus der spezifischen kinematischen Struktur der Schreitausbaueinheit und aus der Anzahl der verwendeten Hydraulikstempel. Der Einsatz eines automatischen Steuerungssystems soll die Betriebskontrolle garantieren, sodass die Stempel im Verhältnis zur Kufe senkrecht und gleichzeitig die parallele Lage der Kappe zur Kufe sowohl während des Raub- als auch des Setzvorgangs gesichert bleiben. Derzeit werden bei vollmechanischem Strebaubau komplexe automatische Steuerungssysteme verwendet. Ihre direkte Anpassung an die beschriebene Entwicklung ist jedoch vor allem wegen der notwendigen Anwendung von dezidierten Steueralgorithmen, die an die spezifische Kinematik des neuen Ausbaus angepasst werden müssen, unmöglich.

Vor diesem Hintergrund wurden die Forschungsarbeiten in diesem Bereich auf die Erarbeitung von Steueralgorithmen für den Ausbau und für die Synthese des Steuerungssystems mittels marktüblicher Bauelemente konzentriert. Das Blockdiagramm des neuen Steuerungssystems für eine einzelne Schreitausbaueinheit zeigt Bild 3. Demnach besteht das Steuerungssystem

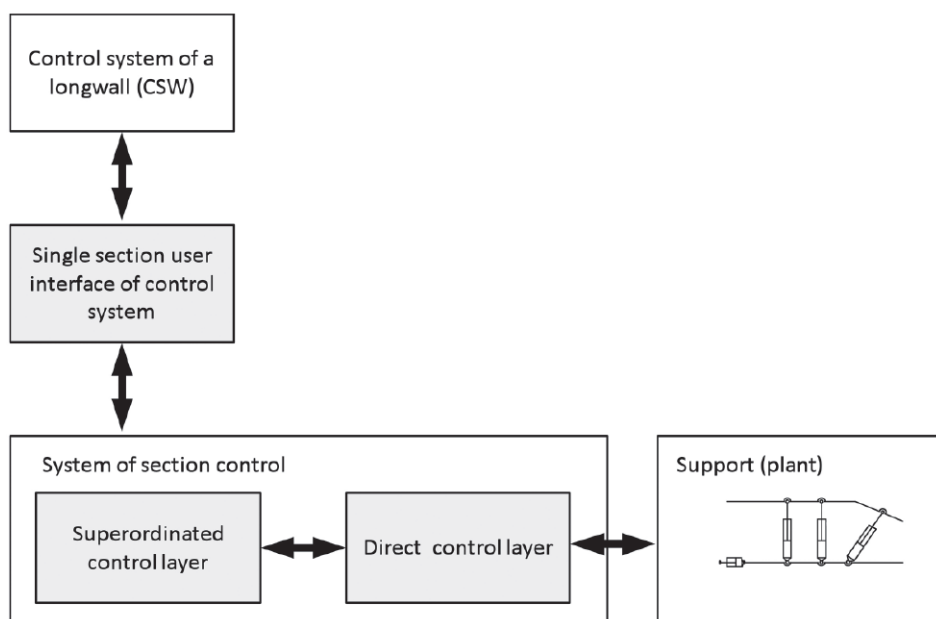


Fig. 3. Block diagram of the new system of section control.

Bild 3. Blockdiagramm der neuen Steuerung für eine Ausbaueinheit.

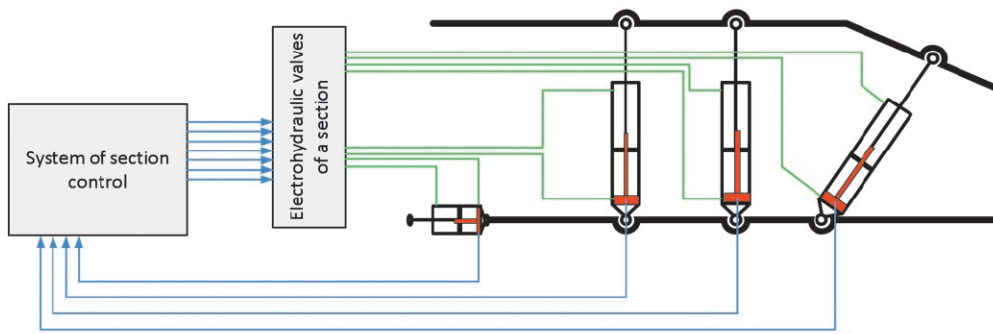


Fig. 4. Diagram of the measuring-controlling system of a section.
Bild 4. Schema des Mess- und Steuerungssystems des Schildausbaus.

All things considered, the research in this scope has focused on the development of algorithms of a support control system, a synthesis of the control system hardware with the use of elements which are available on the market. Figure 3 shows a general block diagram of the new system controlling a single section. The system controlling a single section (SCSS) consists of layers of superordinated control and direct control. SCSS is a regulation system which controls the support in response to signals received from the superordinated system of support control (SC). It has been agreed that the system of section regulation will be fully compatible with the superordinated, commonly used support control system of a longwall (CWS) so that the verified solutions should not be changed. The properties and practical use of these systems will accelerate research and implementation as well as cutting costs.

As has been mentioned, the control system of a single section consists of superordinated and direct control layers. The system of the section control is integrated with the support by means of measuring signals and command signals. Due to the kinematic redundancy of an object which is controlled, it has been necessary to provide each of the hydraulic props with way transducers as well as pressure transducers – measuring emulsion pressure in the space above and under the piston of the prop. Figure 4 shows the measuring-controlling system of the section. In this picture the displacement transducers mounted in cylinders have been marked red, whereas signals from transducers and those control signals to the electrohydraulic valves of the section have been marked blue. Hydraulic wires connecting electrovalves with hydraulic cylinder have been marked green. The layer of superordinated control (SC) communicates with the superordinated system of longwall control (CSW). It receives command signals such

(URS) aus einer übergeordneten Steuerung und der Direktsteuerung. URS ist ein Regelungssystem, das den Ausbau aufgrund von Signalen, die es aus dem übergeordneten Steuerungssystem des Ausbaus (EUSS) bekommen hat, steuert. Es wurde angenommen, dass die Steuerung für eine Schreitausbaueinheit völlig kompatibel mit der übergeordneten, standardmäßig verwendeten Steuerung des Ausbaus (EUSS) ist, sodass die bereits in der Praxis erprobten Lösungen nicht geändert werden müssen. Die Merkmale und Funktionen dieser Systeme ermöglichen die Beschleunigung der Forschungs- und Umsetzungsarbeiten sowie eine Kostensenkung.

Wie bereits erwähnt, besteht das Regelungssystem einer Ausbaueinheit aus der Ebene der übergeordneten Steuerung und der Ebene der Direktsteuerung. Das Regelungssystem der Ausbaueinheit ist mit dem übrigen Ausbau durch Mess- und Steuerungssignale integriert. Wegen der kinematischen Redundanz des zu regelnden Objekts war es notwendig, jeden Hydraulikstempel mit Weggebern und Druckaufnehmern – sie messen den Druck der Emulsion im Raum unter und über dem Kolben des Stempels – zu versehen. Das Mess- und Steuerungssystem eines Schilds zeigt schematisch Bild 4. Die in den Rückzylindern befindlichen Bewegungsaufnehmer sind darin rot markiert, die elektrischen Signale von den Bewegungsaufnehmern und jene Signale, welche die elektrohydraulischen Ventile steuern, blau. In Grün sind die hydraulischen Leitungen, welche die Elektroventile mit den hydraulischen Rückzylindern verbinden, dargestellt. Die Ebene der übergeordneten Steuerung kommuniziert mit dem übergeordneten System der Ausbausteuerung (EUSS). Aus dem EUSS bekommt sie die Steuersignale, z.B. Rauben, Setzen usw. Das EUSS bekommt umgekehrt Informationen über ihren Zustand.

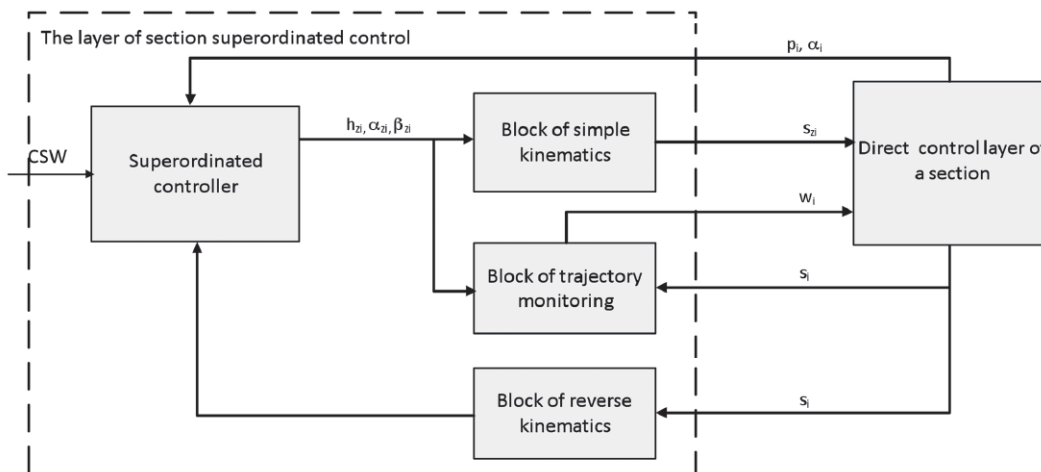


Fig. 5. Block diagram of the layer of section superordinated control (CS).
Bild 5. Blockdiagramm der Ebene der übergeordneten Ausbaueinheitsteuerung.

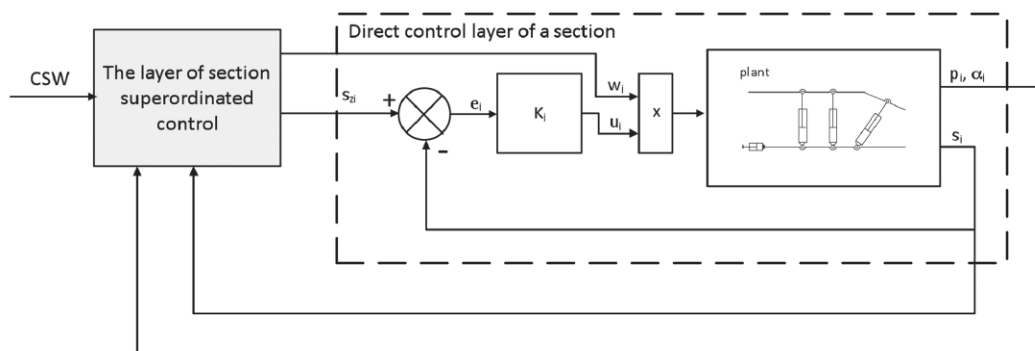


Fig. 6. Block diagram of the layer of the section direct control layer.
Bild 6. Blockdiagramm der Ebene der Direktsteuerung einer Schreitausbaueinheit.

as “section withdrawal”, “section spanning” etc. from the CSW, and in return CSW receives feedback about its condition.

This layer translates signals received from the CSW and calculates the set values for the layer of direct control. The layer of direct control is a part of the control system which, on the basis of signals from the superordinated part (CS), realizes control of hydraulic valves in order to complete particular functions. This control layer is responsible for measurement and signal generation. In this layer on the basis of measured displacements p_i of hydraulic cylinders (main props and angle brace props), angles α_i , as well as set values s_{zj} , control signals u_i are determined. They directly control hydraulic valves of the section. The layer of superordinated control (Figure 5) consists of the superordinated controller, a block of simple kinematics, a block of trajectory monitoring and a block of reverse kinematics.

The direct control layer (Figure 6) is a part of the section control system which, on a basis of signals coming from the superordinated part, realizes hydraulic valves control in order to complete particular functions. This layer of control system is responsible for measurement and generation of control signals. In it, on a basis of the measured displacements of hydraulic cylinders p_i , angles α_i , as well as the set values, control signals u_i which directly control the section hydraulic valves are determined. The block diagram in figure 6 shows an object (a single section), K_i controllers where the index i stands for a prop number. On the basis of error as well as the function presented in figure 7, K_i controller determines a control signal u_i . This signal is multiplied by w_i from the superordinated controller. Thanks to such a structure, the superordinated controller can supervise the section work, and when needed, correct the work of the direct layer.

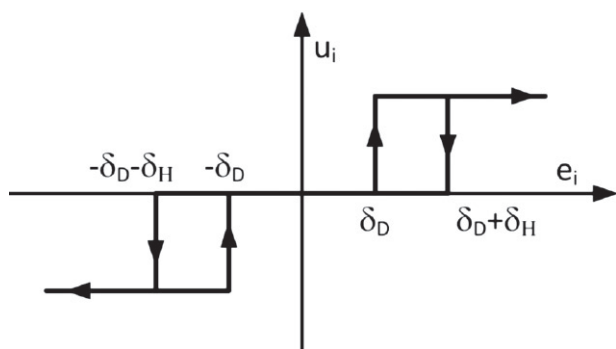


Fig. 7. Collector with a silent zone and hysteresis.
Bild 7. Regler mit Totzone und Hysterese.

Diese Ebene interpretiert die vom EUSS erhaltenen Signale und berechnet die eingegebenen Werte für die Ebene der Direktsteuerung. Die Ebene der Direktsteuerung ist der Teil des Regelungssystems, der aufgrund der Signale aus dem übergeordneten Teil die Steuerung der Hydraulikventile zur Ausführung von konkreten Funktionen übernimmt. Diese Ebene ist verantwortlich für die Messung und die jeweiligen Steuerungen. Auf ihr werden aufgrund von gemessenen Wegen der Rückzylinder (Hauptstempel und Strebestempel) p_i , Winkeln α_i und eingegebenen Werten s_{zj} die Steuersignale u_i ermittelt, die direkt die hydraulischen Ventile der Schreitausbaueinheit steuern. Die Ebene der übergeordneten Steuerung (Bild 5) besteht aus einem übergeordneten Regler, einem einfachen Kinematikblock, einem Block zur Trajektorieverfolgung und einem umgekehrten Kinematikblock.

Die Ebene der Direktsteuerung (Bild 6) ist jener Teil des Regelungssystems der Schreitausbaueinheit, welcher aufgrund von Signalen aus dem übergeordneten Teil die Steuerung der Hydraulikventile durchführt. Diese Steuerungsebene ist verantwortlich für die Messung und die Erzeugung von Steuersignalen. Hier werden aufgrund der gemessenen Wege der Rückzylinder p_i , der Winkel α_i und der eingegebenen Werte für die Verschiebungen der Rückzylinder s_{zj} die Steuersignale u_i ermittelt, die direkt die hydraulischen Ventile der Schreitausbaueinheit steuern. In dem in Bild 6 dargestellten Blockdiagramm werden ein Objekt – eine einzelne Schreitausbaueinheit – und die Regler K_i gezeigt. Der Index i bezeichnet die Nummer eines Stempels. Der Regler K_i bestimmt aufgrund der Abweichung e_i und wegen der in Bild 7 dargestellten Funktion das Steuersignal u_i . Dieses Signal wird mit w_i vom übergeordneten Regler multipliziert. Dank dieser Struktur kann der übergeordnete Regler die Funktionen des gesamten Ausbaus überwachen und je nach Bedarf korrigieren.

4 Untersuchungen der Schreitausbaueinheit für vollmechanischen Ausbau auf dem Prüfstand

Im Rahmen des Projekts wurden die Ausführung und die Untersuchung von drei Schreitausbaueinheiten für einen vollmechanischen Ausbau neuen Typs geplant. Bild 8 zeigt den ersten gefertigten Prototyp des beschriebenen Ausbaus. Die Untersuchungen auf dem Prüfstand werden in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wird das Verhalten einer einzelnen Schreitausbaueinheit unter asymmetrischen Belastungen getestet. Diese Untersuchung ermöglicht die Beurteilung der vermuteten Steueralgorithmien. Während der Untersuchungen befindet sich die Ausbaueinheit in einem speziell entworfenen Rahmen (Bild 9), der das Setzen des Ausbaus mit maximalem Ausbauwiderstand



Fig. 8. Prototype of the powered support section of a new type.
Bild 8. Prototyp des vollmechanischen Ausbaus neuen Typs.



Fig. 9. Overview of a work-station frame for testing a single section powered support.
Bild 9. Prüfrahmen zum Test einer einzelnen Ausbaueinheit.

4 Work-station research on the powered support section

In the scope of the project it has been decided to develop and test three sections of the powered support of the new type. In Figure 8 the first developed prototype of the support section is shown. Work-station research will be divided into two stages. In the first stage of research a single section behaviour conditions of asymmetric load will be carried out. This research will make it possible to evaluate the assumed algorithms of a single section control. During the research the support section will be located in a specially designed frame which will allow for spanning the support with the maximum load-bearing capacity. Figure 9 shows an image of this frame. The conditions of asymmetric load will be induced by laying steel bars at the surface of the roof bar, and afterwards the support spanning in the frame structure will follow. It is anticipated that in this stage of the research, the support will be spanned at the maximum power supply of 32 MPa. In figure 10 one can see an example of support location within the frame for a selected load-bearing test.

In the nearest future it is planned to conduct testing of cooperation of three support sections connected by means of shift bars with the spans of the chain conveyor. The objective of this stage will be to check the interaction and performance of the section by its realization of several operating turnarounds, i.e. spanning, withdrawing, as well as conveyor and support transfer in conditions approximately similar to working conditions in the longwall complex system.

5 Conclusions

The abundance of thin seams of coal in Poland and around the world encourages to find new and more efficient technologies of their exploitation. Two of the basic problems of coal thin seams exploitation are severe working conditions and operation of machines of the powered longwall system. An analysis of technical and economic limitations connected with thin seams exploitation indicates development of a new powered support to be one possible way of eliminating the problems. The presented conception of a new type of powered support constitutes a resolution combining advantages of shield-type standing supports and conventional standing supports. As a result, as far as thin seams exploitation is concerned, it is possible to improve essential pa-

ermöglicht. Die Zustände asymmetrischer Belastung werden durch das Aufstellen von Stahlträgern auf der Kappenoberfläche mit anschließendem Setzen des Ausbaus in der Rahmenkonstruktion simuliert. Es wird angenommen, dass in dieser Untersuchungsphase der Ausbau mit einem maximalen Druck von 32 MPa gesetzt wird. Bild 10 zeigt ein Aufstellbeispiel des Ausbaus im Prüfstandsrahmen für den ausgewählten Belastungstest.

In weiterer Folge sind Tests für das Zusammenspiel von drei Schreitausbaueinheiten geplant, die mit Rückzylindern mit den Rinnen eines Kettenkratzerförderers verbunden sind. Das Ziel dieser Untersuchungsphase wird sein, die Zusammenarbeit und die Funktion der Ausbaueinheiten zu prüfen, und zwar durch die Ausführung von einzelnen Arbeitszyklen, d.h. Setzen, Rauben, Rücken des Förderers und Ziehen des Ausbaus unter realitätsnahen Bedingungen.

5 Resümee

Die in geringmächtigen Flözen anstehenden Kohlevorräte zwingen sowohl in Polen als auch weltweit Bergwerke zur Suche nach neuen und effektiveren Abbautechnologien. Eines der grundlegenden Probleme des Kohleabbaus in dünnen Flözen sind die extrem schwierigen Arbeits- und Bedienungsverhältnisse im Streb. Die Analyse von technischen und wirtschaftlichen Störfaktoren, die den Abbau solcher Flöze begleiten, zeigt, dass eine mögliche Lösung in der Entwicklung eines neuen vollmechanischen Ausbaus liegt. Das im Artikel beschriebene Konzept des vollmechanischen Strebausbaus neuen Typs ist eine Variante, welche die Vorteile des Bockschildausbaus mit denen des klassischen Unterstützungsausbaus verbindet. Im Endeffekt ist es möglich, die beim Abbau von dünnen Flözen wichtigen Ausbauparameter zu verbessern, darunter die Vergrößerung des Querschnitts in der Durchgangszone der Gewinnungsmaschine wie auch die Verringerung des Ausbaugewichts im Verhältnis zum angenommenen Ausbauwiderstand. Die im Beitrag beschriebenen Fragestellungen sind ein Ausgangspunkt für spätere Forschungen und Umsetzungen. Im Rahmen des Forschungsprojekts, das von der AGH und der Firma Hydromel S.A., Siemianowice Śląskie/Polen, durchgeführt wird, sind Untersuchungen zum vollmechanischen Ausbau neuen Typs auf einem Prüfstand geplant, was in der Folge zu einem Anforderungskatalog für eine kommerzielle Entwick-

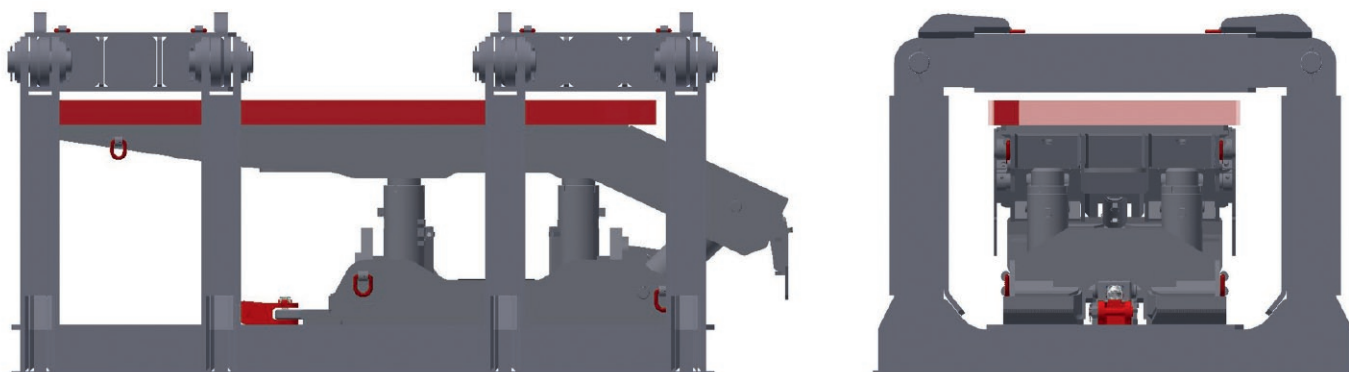


Fig. 10. Overview of the support along with the supporting bar in the frame of the research work-station.
Bild 10. Ausbaueinheit samt Stützbalken im Rahmen des Prüfstands.

rameters of a support, including a larger intersection of the passage area as well as a decrease of the support mass in relation to the assumed load-bearing capacity of the support. The described above issues are the basis for further research and implementation work on the new support structure for thin seams exploitation. In the scope of the research project realized by the AGH-UST as well as Hydromel S.A, Siemianowice Śląskie/Poland, workstation research on the new type of powered support is planned. It will result in development of assumptions and guidelines for commercial solutions of the new type support. The project has been realized in the scope of the Program for Applied Research subsidized by the National Centre for Research and Development (PBS3/B2/22/2015).

References / Quellenverzeichnis

- (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.

Authors / Autoren

Prof. Dr.-Ing. Krzysztof Krauze, Dr.-Ing. Waldemar Rączka,
Dr.-Ing. Grzegorz Stopka, AGH University of Science and Technology,
Krakow/Poland

lung des Ausbaus führen soll. Das Projekt ist im Rahmen des Programms für Angewandte Forschungen zustande gekommen, das vom Nationalen Zentrum für Forschung und Entwicklung (PBS3/B2/22/2015) gefördert wird.