



Aleksander WARDAS*, Roland BOBEK*, Tomasz ŚLEDŹ*, Jarosław TWARDOKĘS*,
Adam RATAJCZAK*, Piotr GŁUCH**

Sposoby wzmocnienia górotworu dla poprawy stateczności wytrobisk korytarzowych na dużej głębokości w warunkach występowania zagrożeń naturalnych i technicznych w kopalniach węgla kamiennego

Streszczenie: W praktyce polskiego górnictwa podziemnego powszechne zastosowanie znajdują dwa systemy obudowy wyrobisk górniczych, w którym pierwszy chroni przekrój wyrobiska (obudowy sztywne), a drugi konstrukcję obudowy (obudowy podatne np. typu ŁP). W warunkach głębokich kopalń istotnym elementem obudowy powinien się stać otaczający górotwór, który we współpracy z obudową powinien zapewnić stateczność wyrobiska. Uwarstwiony i naturalnie spękany maszy skalny wokół wyrobiska może być wzmocniony przez przyłożenie do jego powierzchni, jak również do głębszych warstw skalnych, siły ograniczającej jego deformację, który powoduje wytworzenie korzystnego stanu naprężenia na obrysie wyłomu wyrobiska, zwiększenie sił tarcia zarówno między warstwami, jak i między spękaniem, ograniczanie możliwości rozwarstwiania się masywu. Uwzględniając złożone warunki geologiczno-górniczne przedstawiono systemy obudów wyrobisk górniczych, w których wzmocnienie górotworu stanowi istotny element obudowy. Omówiono rozwiązania konstrukcji obudów, w których wykorzystuje się obudowy podporowe współpracujące alternatywnie z kotwiami krótkimi, długimi, mechaniczną wykładką za obudową, iniekcją, sprężaniem skał wokół wyrobiska, stosowaniem betonu natryskowego izolacyjnego i konstrukcyjnego. Rozwiązanie obudowy kotwiowej i podporowo-kotwiowej zespolonej z górotworem z podpomością wstępną jest alternatywą zapewnienia stateczności wyrobiska, w którym stosowane środki i metody są poprawione i bardziej efektywnie wykorzystane tak, że wzmocnienie górotworu wokół wyrobiska powoduje zmniejszenie obciążenia obudowy ze strony deformującego się górotworu, a obudowa ma rosnącą podpomość.

Słowa kluczowe: górnictwo, obudowa wyrobisk korytarzowych, systemy obudowy

* Mgr inż., JSW SA KWK Knurów-Szczygłowiec, Knurów; e-mail: adam4252@wp.pl

** Dr inż., Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: piotr-gluch@wp.pl

Ground control for ensuring the stabilization of roadways located at considerable depths in the conditions of natural and mining risks

Abstract: In the Polish underground mining practice, two heading support systems are commonly used. The first protects the section of the heading (rigid supports) while the second one protects the structure of the lining (i.e. yielding arch supports). In the conditions of deep mines, the surrounding rock mass should become a significant element of the supports. While cooperating with the supports, it should ensure the stability of the heading. The layered and naturally fractured rock mass around the heading may be reinforced by applying a force that limits its deformation to its surface as well as to deeper rock layers. The force then causes favourable stress conditions at the outline of the face of the heading, an increase in the friction forces both between the layers and between the fractures and a decrease in the probability of separation of the rock mass caused by bolting.

While giving consideration to complex geological and mining conditions, the paper presents heading support systems in which the protection of the rock-mass constitutes a significant element of the support system. The paper also includes an overview of the support structures in which chock supports are used, cooperating alternatively with short and long rockbolts, the mechanical lining behind the supports, the injection, the compression of rocks around the heading as well as the application of insulating and structural shotcrete. The lining solution in the form of roof-bolting or roof-bolting with supports bonded with the rock mass and with an initial bearing capacity constitutes a modern alternative for providing the stability of the heading. In such a solution, the measures and methods are corrected and more effective. As a result, the protection of the rock mass around the heading causes a decreased load on the lining caused by the deformation of the rock mass while the lining is characterized by an increased load bearing capacity.

Keywords: mining, roadway supports, heading support systems

Wprowadzenie

Na stateczność wyrobisk górniczych i dobór obudowy w największym stopniu wpływają warunki geologiczno-górnice i właściwości geotechniczne skał i masywu skalnego wokół wyrobiska podziemnego.

Warunki geologiczno-górnice i właściwości geotechniczne przy podejmowaniu decyzji o budowie obiektu podziemnego, czy eksploatacji złoża, muszą być dobrze rozeznane tak, aby można było zaprojektować wyrobiska zapewniające:

- stateczność w fazie drążenia i użytkowania,
- bezpieczeństwo wykonania i użytkowania,
- optymalne koszty poniesione na wykonanie i utrzymanie.

W kopalniach węgla kamiennego właściwy dobór obudowy jest szczególnie istotny dla chodników przyścianowych stanowiących podstawowe drogi transportowe dla ściany wydobywczej. Nowoczesne ściany wydobywcze o wysokiej koncentracji produkcji przy wydobywaniu dobowym (rzędu 10 tysięcy ton, a często i większym) wymagają stosowania rozwiązania obudowy i przekroju wyrobiska, który zapewni:

- stateczność wyrobiska, tj. bezpieczne warunki pracy, wyrażające się zależnością:

$$P_{obud} \geq q_{obc}$$

gdzie:

- P_{obud} – podporność obudowy,
- q_{obc} – obciążenie działające od strony górotworu (stropu, ociosu, spągu).

- przydatność do użytkowania wyrobiska, pozwalającą prowadzić niezakłóconą eksploatację ściany, wyrażające się zależnością:

$$K_{wyr} \geq K_{dop}$$

gdzie:

- K_{wyr} – konwergencja wyrobiska pozioma, pionowa,
- K_{dop} – dopuszczalna konwergencja wyrobiska określona wymaganiami ruchowymi pozwalającymi prowadzić niezakłóconą eksploatację ściany.

- trwałość związana z odpornością na wpływy środowiska i zagrożenia górnicze,
- komfort cieplny pracy wyrażający się zapewnieniem optymalnych warunków klimatycznych dla prowadzenia robót w chodniku, pracy w ścianie i wykorzystaniu chodników,
- kształt przekroju poprzecznego pozwalający prowadzić efektywną mechanizację procesów roboczych i uzyskania dużego postępu drążenia chodnika.

Aktualnie dla warunków polskich kopalń węgla kamiennego przy projektowaniu wyrobisk korytarzowych obowiązują normy (PN-G-050020 i PN-G-05600) jak i zasady doboru obudów wyrobisk korytarzowych (Chudek i in. 2000; Drzęźła i in. 2000; Rułka i in. 2001).

Obok dużej zmienności warunków geologiczno-górnicych obserwuje się również dużą zmienność wielkości parametrów geotechnicznych skał górotworu takich jak:

- wytrzymałość skały na ściskanie i jej zmienność w zależności od zawilgocenia, czasu obciążenia, kierunku obciążenia,
- sztywność skały określona wielkością modułu Younga i jego zmienna wartość zależna od kierunku działającego obciążenia,
- kąt tarcia wewnętrznego rozpatrywany dla jednorodnej skały jak i na połączeniu warstw skalnych.

Dla warunków tych zalecane jest (Duży 2005, 2007) określenie minimalnych parametrów wytrzymałościowych z określonym współczynnikiem pewności.

Dla prawidłowego zachowania się wyrobiska istotny wpływ ma jego lokalizacja w strukturze przestrzennej kopalni:

- usytuowanie wyrobiska w stosunku do głównych pól naprężeń,
- usytuowanie chodnika w stosunku do wybranej ściany z pozostawiony pasem węgla,
- usytuowanie wyrobiska w stosunku do przebiegu krawędzi pokładów wyżej i niżej leżących z uwzględnieniem ich liczby, czasu istnienia i odległości,
- usytuowanie wyrobiska w stosunku do prowadzonej eksploatacji ścian ich wzajemny odstęp powyżej i poniżej.

Rozpatrywanie zachowania się wyrobiska korytarzowego w uwarstwowionym górotworze wymaga przeprowadzenia jego oceny uwzględniającej:

- kształt przekroju poprzecznego wyrobiska,
- czas istnienia wyrobiska,
- pełnione funkcje w czasie jego użytkowania przy zmieniającym się obciążeniu.

Dużym problemem, jak wykazują praktyczne doświadczenia, jest uwzględnienie w fazie projektowania zagrożeń naturalnych i górniczych takich jak:

- zagrożenie wodne,
- zagrożenie gazowe,

- zagrożenie wstrząsami i tąpnięciami,
- zagrożenie pyłowe,
- zagrożenie pożarowe,
- zagrożenie klimatyczne i temperaturowe,
- zagrożenie radiacyjne,
- inne zagrożenia.

1. Podział obudowy górniczej wyrobisk

Podstawowym podziałem obudowy ze względu na sposób oddziaływania na górotwór są:

- obudowy podpierające, (zwane również biernymi),
- obudowy kotwiące, (zwane również aktywnymi),
- inne (odgradzające, izolujące, sklejające, podtrzymujące, osłaniające).

Stosowane obecnie w górnictwie węgla kamiennego obudowy nie zawsze zapewniają stateczność wyrobiska i przy występowaniu trudnych warunków geologiczno-górnich są w wielu przypadkach niewystarczające dla zapewnienia stateczności wyrobiska górniczego.

Korzystnym podejściem do obudowy jest rozpatrywanie jej jako systemu złożonego z wielu elementów dobieranych każdorazowo do określonych warunków geologiczno-górnich, których celem ostatecznym jest zapewnienie optymalnej współpracy obudowy z górotworem.

Do najczęściej stosowanych systemów stosowanych powszechnie w wyrobiskach korytarzowych jest:

- *system obudowy chroniący przekrój wyrobiska* (obudowy sztywne, o ograniczonej podatności np. szyby, komory, wyrobiska specjalistyczne),
- *system obudowy chroniący konstrukcję*, do których należy głównie obudowy typu ŁP, która ulega zsuwom na złączach przed wystąpieniem deformacji niszczących.

System chroniący przekrój wyrobiska w tradycyjnym wykonaniu jest realizowany przez zabezpieczenie wyrobiska obudową sztywną głównie z betonu, murów z cegły i betonitów w szybach, wlotach szybowych, komorach specjalistycznych. Do grupy tej można zaliczyć również obudowy o ograniczonej podatności uzyskiwanej głównie przez stosowanie wkładek podatnych między elementami obudowy sztywnej.

System chroniący konstrukcję jest podstawowym systemem obudowy stosowanym w kopalniach węgla kamiennego w wyrobiskach korytarzowych liniowych wykorzystywanych do eksploatacji złoża, w których główną konstrukcją obudowy są odrzwia ŁP wykonane z kształtowników stalowych. Założenia i idea obudowy ŁP polega na dopuszczeniu do zsuwów na złączach łuków przed wystąpieniem ich trwałej deformacji.

Długoletnie stosowanie obydwu systemów obudowy wykazało, że w warunkach dużej głębokości i występowania wzmożonych zagrożeń naturalnych i górniczych nie zawsze zapewniają stateczność wyrobiska i bezpieczne warunki pracy. Przykładowo przy wystąpieniu wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu może dochodzić do tępnięć, w których niszczonego struktura skał niszczy wyrobisko z obudową i wyposażeniem (sytuacja z kwietnia 2015 roku – kopalnia Wujek Ruch Śląsk). W praktyce górniczej konstrukcja obudowy jest obiektem, który w małym stopniu jest związany z górotworem, a istniejący system rozwiązania tego zagadnienia często jest niewystarczający.

2. Praca obudowy podporowej w trudnych warunkach geologiczno-górnicznych

Podporność odrzwi obudów podatnych w praktyce zależna jest od wielu czynników. Jednym z sposobów jej określenia jest prowadzenie badań stanowiskowych odrzwi wykonanych w skali 1:1 (rys. 1). Standardowe badania są prowadzone w stanie podatnym odrzwi obudowy i w stanie usztywnionym. Wyniki badań są między innymi przedstawiane w postaci charakterystyki pracy obudowy, która podaje przebieg podporności obudowy określanej jako sumy obciążenia czynnego w funkcji przemieszczenia pionowego w kierunku wypadkowej obciążenia.



Rys. 1. Widok badanej obudowy w skali 1:1

Fig. 1. View of the tested supports in 1:1 scale

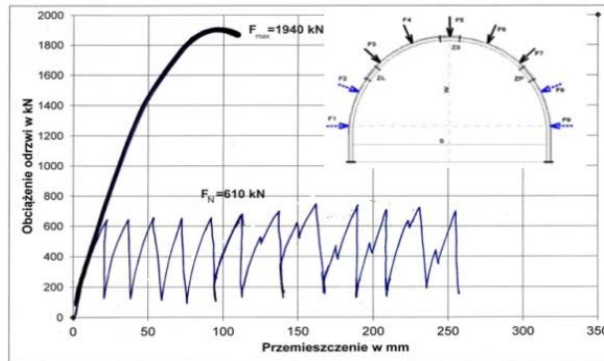
Przeprowadzone do tej pory badania przedstawione szczegółowo w wielu opracowaniach (Głuch 2015; Kudela i in. 2015) pozwalają porównać między sobą pracę konstrukcji obudowy, których przykładową charakterystykę w fazie pracy odrzwi podatnych i usztywnionych o wielkości ŁP12V32/4/A przedstawiono na rysunku 2.

Z dwóch charakterystyk pracy obudowy (rys. 2) średnia nośność zsuwna odrzwi F_N wynosi 610 kN, a maksymalna nośność odrzwi usztywnionych F_{max} wynosi 1940 kN (obciążenie czynne (akcyjne) na długości łuków stropnicowych). Współczynnik wykorzystania nośności odrzwi wynosi:

$$k_4 = F_N/F_{max} = 610/1940 = 0,314$$

Liczne doświadczenia i analizy wykazały, że do niekorzystnych właściwości obudów podporowych podatnych typu ŁP stanowiących podstawowy typoszereg odrzwi stosowanych w polskich kopalniach węgla kamiennego zalicza się:

- niska nośność zsuwna odrzwi obudowy w stanie podatnym w stosunku do nośności maksymalnej badanej w stanie usztywnionym – liczne badania wykazują jej stosunek o wielkości od 0,3 do 0,55,



Rys. 2. Charakterystyka pracy odrzwi obudowy LP12/V32/4/A
 a – wykres dla odrzwi w stanie podatnym – 2 strzemiona SDO32/34/36W o momencie dokręcenia nakrętek strzemion $M = 500$ Nm, b – wykres dla odrzwi w stanie usztywnionym

Fig. 2. Performance characteristics of arches in the LP12/V32/4/A supports
 a – graph for yielded arches – 2 SDO32/34/36W shackles, tightening torque of shackle nuts $M = 500$ Nm, b – graph for arches in rigid state

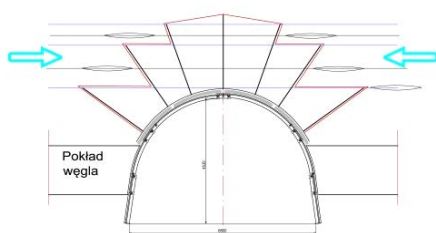
- konstrukcja łuków nie pozwala praktycznie dla danej wielkości odrzwi zmienić jej kształtu i gabarytów,
- łukowy kształt w części stropnicowej zbliżony do kształtu kołowego o znacznej wyniosłości w górotworze uwarstwionym prowadzi do znacznego odsłaniania skał od strony ociosu (słabych skał nad pokładem węgla) i wytwarzania się pustek ociosowych poszerzających szerokość wyrobiska w stropie,
- deformacja odrzwi poprzez zsuwy na złączach jest trudna do kontroli, ze względu na problemy kontroli momentu dokręcenia nakrętek śrub strzemion, zwłaszcza na złączach łuków stropnicowych,
- kształt łukowy obudowy LP, jak i gabaryty typoszeregu jest trudny do wykorzystania do konstrukcji np. połączeń wyrobisk korytarzowych, skrzyżowań prostych czy ukośnych,
- łukowy kształt w części stropowej wyrobiska jest technologicznie trudny do kotwienia między odrzwiami i wytworzenia efektywnego wzmocnienia górotworu,
- odrzvia obudowy łukowej dla przykotwienia za pomocą kotwi linowych do wyższych partii górotworu wymagają jak wykazała praktyka stosowania specjalnie ukształtowanych podciągów dających prawidłowe usytuowanie kotwi,
- łukowy kształt odrzwi w chodnikach przyścianowych w którego przekroju występuje pokład węgla o małej grubości prowadzi do konieczności wybierania znacznej wielkości skały pónnej zanieczyszczającej środowisko,
- stosowane konstrukcje strzemion zwłaszcza typu SD i SDO nie gwarantują równomiernych i na wysokim poziomie wartości nośności zsuwnej,
- występują problemy rozmieszczenia urządzeń wyposażenia chodnika i możliwości powtórnego wykorzystania go dla drugiej ściany,
- łukowy kształt w części stropnicowej obudowy stwarza problemy przy stosowaniu do utrzymania skrzyżowania ściana – chodnik sekcji obudowy zmechanizowanej.

Wymienione mankamenty są przyczyną poszukiwania i projektowania innych konstrukcji obudów w zakresie ich kształtu, rozmieszczenia złącz, liczby strzemion na odrzwiach, sposobów wzmocnienia itp., gdzie jednym z rozwiązań jest typoszereg odrzwi obudowy ŁPSp i ŁPSp3R (Głuch 2015a, b, c; Kudela i in. 2015).

3. Aktywny system obudowy kotwowej i podporowo-kotwowej wyrobisk korytarzowych

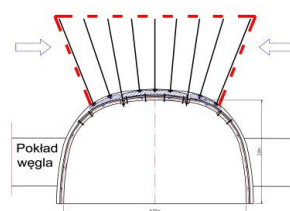
Do mankamentów stosowania obudowy kotwowej i podporowo-kotwowej w górnictwie polskim należą między innymi:

- słaba poprawa wzmocnienia stropu przez kotwienie wokół wyrobiska, (kotwie nie wytwarzają wysokiej strefy wzmocnienia górotworu przy łukowym kształcie odrzwi (rys. 3), co ma miejsce przy stosowaniu kształtu spłaszczonego, gdzie kotwie wytwarzają w stropie skotwioną belkę skalną (rys. 4),
- stosowane są kotwie z kutą końcówką pręta nie zapewniającą naciągu wstępnego, podkładki, bardzo często nie przylegają do obrysu wyłomu, (rys. 5), co w pełni osiąga się przy stosowaniu kotwi z prętem gwintowanym np. na całej długości (rys. 6),
- nie stosuje się pełnego wklejenia kotwi w otworze osadzając często kotew na dwóch ładunkach, co powoduje wystąpienie wysokich sił na końcu kotwi (rys. 7) przy podkładce i nie wzmacnia dostatecznie skały jak to ma miejsce przy pełnym wklejeniu kotwi na długości otworu, gdzie siła na końcu kotwi jest mniejsza od siły na długości kotwi w miejscu niszczenia struktur skalnych (rys. 8),
- kotwy strunowe są produkowane z gładkich strun (drutów sprężystych) niezwiązanych na całej długości z górotworem wklejanych tylko na końcu (rys. 9), bez stosowania klatek na długości poprawiających ich współpracę z otworem kotwiovym (rys. 10),



Rys. 3. Niewielki zasięg wzmocnienia skał wokół wyrobiska przy kotwieniu radialnym z powstającymi strefami zniszczenia (poślizgu warstw) w bliskiej odległości wokół wyrobiska

Fig. 3. Low reach of reinforcement of the rocks surrounding the roadway in case of radial bolting with emerging fracturing zones (gliding of strata) near the roadway



Rys. 4. Strefa wzmocnienia warstw skalnych w kształcie trapezu wokół wyrobiska w kształcie spłaszczonego z kotwieniem kotwiami o różnej długości

Fig. 4. Trapezoidal zone of the reinforcement of rock layers around the roadway, flat-shaped with bolting using rock bolts of varying lengths



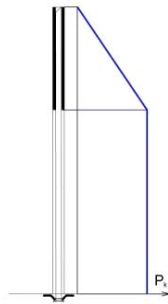
Rys. 5. Słabo dociśnięte podkładki kotwowe poprzez kotew z kutym łbem

Fig. 5. Bearing plates weakly pressed by a rock bolt with hammered tip



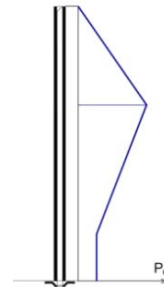
Rys. 6. Widok przylegającej podkładki do ociosu, kotwi z gwintem na całej długości

Fig. 6. Bearing plate of a rock bolt threaded at its entire length pressed against the sidewall



Rys. 7. Siła w kotwi wklejonej odcinkowo wzdłuż kotwi przekazywana na podkładkę

Fig. 7. Force in the rock bolt grouted at its section. The force is transferred to the bearing plate along its length



Rys. 8. Siła w kotwi wklejonej na całej długości z malejącą siłą przekazywaną na podkładkę

Fig. 8. Force in the rock bolt grouted at its entire length with a decreasing force transferred to the bearing plate

- przykotwienie odrzwi poprzez krótkie podciągi nie wzmacnia górotworu w skrajnych przypadkach przy zerwaniu kotwi lub jej uszkodzeniu co powoduje, że odrzwia nie są podparte (rys. 11). Przy wydłużonych podciągach zerwanie pojedynczej kotwi nie powoduje całkowitej utraty nośności układu (rys. 12),
- kotwienie za kombajnem, gdy górotwór się odprężył, jest mało efektywne.



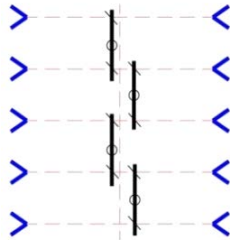
Rys. 9. Kotew strunowa z prostymi drutami sprężystymi, wklejana na końcu

Fig. 9. String Bolt with straight flexible wires, grouted at its end



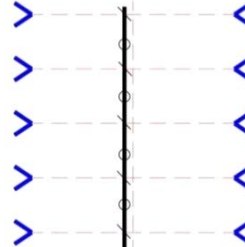
Rys. 10. Kotew linowa z drutów sprężystych z kłatkami, wklejana na całej długości

Fig. 10. Strand bolt with birdcaging, grouted at entire length



Rys. 11. Układ przykotwionych odrzwi kotwiami strunowymi z krótkimi podciągami tzw. orczykami

Fig. 11. A set of arches bolted with string bolts with short horseheads



Rys. 12. Przykotwienie odrzwi poprzez podciąg stalowy budowany na całej długości odrzwi

Fig. 12. Arch bolting by a steel horsehead situated at the entire length of the arches

5. Poprawa warunków utrzymania wyrobiska przez wzmocnienie otaczającego górotworu

Deformacja skał wokół wyrobiska szczególnie intensywnie przebiega w górotworze, gdzie obudowa górnicza nie oddziałuje w sposób aktywny na otaczający górotwór. Stosowane powszechnie obudowy późnopoliporowe z odrzwi stalowych nawet z najcięższych kształtowników nie są w stanie przeciwstawić się wysokim obciążeniom pojawiającym się wraz z niszczeniem struktur skalnych (degradacją górotworu) wokół wyrobiska. Wydrążenie wyrobiska w obudowie podporowej w górotworze silnie uwarstwionym powoduje, że dochodzi do znacznych deformacji, które mają daleki zasięg.

Szczególnie niekorzystna sytuacja zachodzi na płaszczyznach kontaktu warstw skalnych, gdzie występują znaczne poślizgi poziome, wtedy wokół wyrobiska powstają głębokie ogniska zniszczenia (deformacji), które po dodaniu ciśnienia eksploatacyjnego od frontu ściany szybko się uaktywniają i powodują intensywny przebieg deformacji i zaciśnięcia wyrobiska.

Uwzględniając silnie uwarstwowioną budowę górotworu karbońskiego o zmiennej budowie, konieczne staje się na etapie drażenia chodnika bezpośrednio w przodku dążenie do aktywnego oddziaływania obudową na skały otaczające wyrobisko tak, aby nie dopuścić do ich odprężenia i rozluźnienia. Należy spowodować ich wstępne ściśnięcie na obrysie wyłomu wyrobiska. W rozwiązaniu takim warstwy skalne na swoich płaszczyznach kontaktowych powinny ściśle do siebie przylegać, co ograniczy powstawanie pęknięć poprzecznych i tym samym podział górotworu na strukturę kostkową, która praktycznie stanowi druzgot skalny. Uwarstwiony i naturalnie spękany masyw skalny wokół wyrobiska może być wzmocniony przez przyłożenie do jego powierzchni, jak również do głębszych warstw skalnych, sił, które powodują:

- wytworzenie korzystnego stanu naprężenia na obrysie wyłomu wyrobiska; korzystny (trójosiowy) stan naprężenia prowadzi do jakościowej zmiany pracy skały wokół wyrobiska,
- zwiększenie sił tarcia zarówno między warstwami, jak i między spękaniem; dociśnięcie skał do siebie na obrysie wyłomu wyrobiska powoduje zmniejszenie wszelkich występujących w nich naturalnych pęknięć i szczelin, w efekcie czego znacznie wzrasta odporność warstw skalnych na wzajemne przesunięcia poziome i rozwarstwienia,
- ściskanie warstw skalnych występujące już na początku deformacji (przy małych odkształceniach masywu skalnego) korzystnie zmusza warstwy słabsze do przeniesienia zwiększonych obciążeń, bez nadmiernego wyęczenia warstw o dużej wytrzymałości.

Uzyskanie korzystnych efektów kotwienia jest możliwe do osiągnięcia w przypadku oddziaływania na górotwór mocno uwarstwiony bezpośrednio po jego odsłonięciu w trakcie drażenia wyrobiska siłami o wartościach od 100 kN do 600 kN, które znacznie ograniczają wstępne rozwarstwienia masywu.

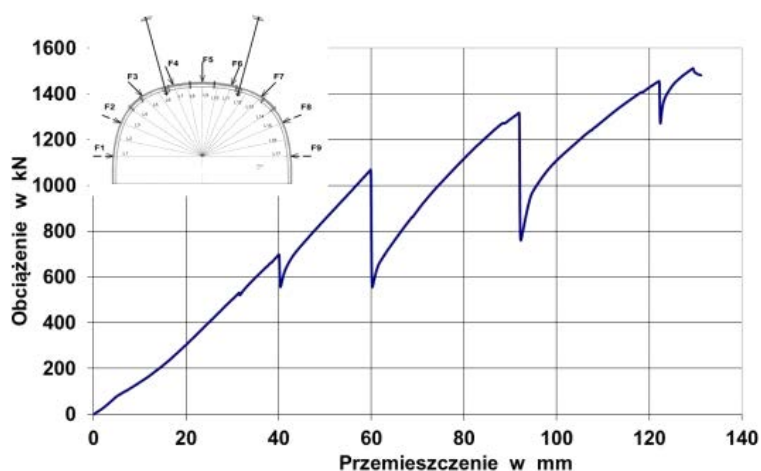
Techniczne rozwiązanie wzmocnienia warstw skalnych, jak również pełnego powiązania obudowy z górotworem, w praktyce polega na stosowaniu:

- kotwi prętowych o nośności rzędu 350 kN wklejanych na całej długości z naciągiem wstępnym rzędu 100 kN wykonywanym w przodku bezpośrednio po zabudowie kotwi,
- kotwi strunowych o wysokiej nośności rzędu 400–800 kN z naciągiem wstępnym rzędu 200–400 kN uzyskiwanym bezpośrednio po zabudowie (po czasie ok. 10 min),
- elementów podporowych obudowy z podpornością wstępną rzędu 200–500 kN uzyskiwaną przez ich rozparcie między płaszczyznami skalnymi w wyrobisku.,
- zastosowania do obudów odrzwiowych worków (węży) rozporowych zapewniających pełny kontakt obudowy z górotworem,
- zastosowanie betonu natryskowego na ocios wyrobiska z zabudowanymi kotwiami i siatkami tak, aby zwiększyć stateczność obrysu wyłomu wyrobiska,
- zastosowanie pełnej wykładki mechanicznej z materiałów budowlanych podawanych za odrzwia obudowy,
- iniekcja spękanego górotworu.

W zależności od warunków geologiczno-górnictwowych oraz występujących zagrożeń istnieje konieczność właściwego doboru wymienionych sposobów ściskania i zespolenia warstw skalnych tak, aby uzyskać efekty techniczne i ekonomiczne utrzymania wyrobiska dostosowane do pełnionej przez niego funkcji.

Opisany system pod nazwą „system obudowy z ochroną górotworu” w praktyce powinien znaleźć szerokie zastosowanie dla poprawy warunków utrzymania stateczność wyrobisk korytarzowych.

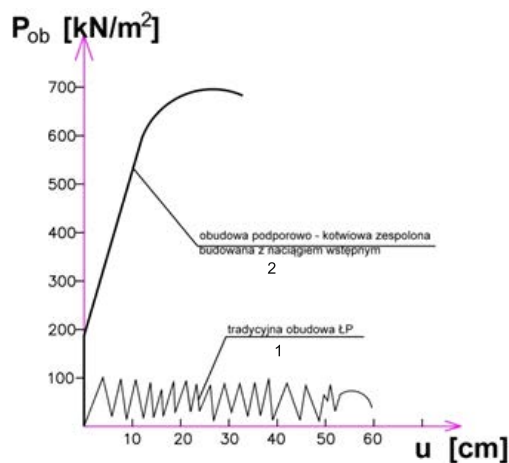
Prowadzone badania laboratoryjne nośności obudów podporowych typu ŁPSp3R-V32/4 przykotwionych za pomocą kotwi linowych (Głuch 2015b) pozwoliły stwierdzić, że istnieje możliwość uzyskania wysokiej podporności odrzwi, która w badaniach dochodziła do ok. 1500 kN (rys. 13) i ze względu na konstrukcje stanowiska nie było możliwości dalszego zwiększania obciążenia.



Rys. 13. Charakterystyka pracy odrzwi ŁPSp3R-V32/4/6,2x3,5 – czteroczęściowa. Odrzvia obudowy skrócone strzemioma SD32/34/36 w liczbie 4 strzemioma na złączu środkowym i po 2 strzemioma na złączach ociosowych z momentem dokręcenia nakrętek 400 Nm. Łuki odrzvia wykonane ze stali S480W. Odrzvia w stanie podatnym przykotwione kotwiami strunowymi

Fig. 13. Performance characteristics of ŁPSp3R-V32/4/6,2x3,5 arches – with four parts. Arches of the supports tightened with SD32/34/36 shackles; 4 shackles at the middle joint and 2 shackles at each of the sidewall joints. Tightening torque of the nuts: 400 Nm. Arches made of S480W steel. Arches bolted using string bolts in yielded state

Praktyczne zastosowanie rozwiązania polega na zabudowie odrzwi z workami rozporowymi między obudową i obrysem wyłomu oraz kotwi strunowych z naciągami wstępnym wiązanych z górotworem na całej długości. Rozwiązanie pozwala wytworzyć konstrukcję zespoloną z górotworem gdzie odkształcenia górotworu będą bezpośrednio przenoszone na obudowę, co w efekcie pozwoli uzyskać nowe charakterystyki pracy obudów o narastającej charakterystyce podporności wraz z deformacją, a nie jak dotychczas z charakterystyką zmienną o malejącej podporności z deformacją odrzwi (rys. 14).



Rys. 14. Charakterystyki pracy obudowy: 1 – charakterystyka pracy obudowy podporowej ze zmienną, malejącą podpornością wraz z przemieszczeniami górotworu, 2 – charakterystyka pracy obudowy przykotwionej do górotworu o narastającej podporności wraz z przemieszczeniem

Fig. 14. Performance characteristics of supports: 1 – performance characteristics of chock supports with decreasing supporting capacity varying along the rock-mass displacement, 2 – performance characteristics of supports protecting the rock-mass exhibiting increasing supporting capacity along the displacement

Wnioski

1. Lokalizacja wyrobiska, warunki geologiczno-górnice, hydrogeologiczne, parametry geotechniczne skał oraz zagrożenia naturalne i górnicze są podstawowymi czynnikami wpływającymi na stateczność wyrobiska i jego bezpieczeństwo. Stosowane dotychczas (systemy) obudowy projektowane ze względu na zachowanie przekroju, czy obudowy podatne (systemy ochrony konstrukcji) w warunkach dużej głębokości często nie zdają egzaminu powodując zagrożenie dla stateczności wyrobisk i bezpieczeństwa załogi górniczej.
2. Obudowy podatne typu LP pełnią funkcję osłaniającą przestrzeń wyrobiska przed obrywem skał. Dopiero przy dużym odkształceniu warstw skalnych (praktycznie ich zniszczeniu) dochodzi do obciążenia odrzwi, które po zsuwie lub deformacji tracą swoją podporność, co praktycznie oznacza brak współpracy z górotworem. Podporność obudowy w czasie jej pracy jest malejąca i na niskim poziomie.
3. Uwarstwiony i naturalnie spękany maszyn skalny wokół wyrobiska może być wzmocniony przez przyłożenie do jego powierzchni, jak również do głębszych warstw skalnych, siły ograniczającej jego deformację, który powoduje:
 - wytworzenie korzystnego stanu naprężenia na obrysie wyłomu wyrobiska. Korzystny (trójosiowy) stan naprężenia prowadzi do jakościowej zmiany pracy skały otaczających wyrobisko,
 - zwiększenie sił tarcia zarówno między warstwami, jak i między spękaniem; dociśnięcie skał do siebie na obrysie wyłomu wyrobiska powoduje zmniejszenie wszel-

- kich występujących w nich naturalnych szczelin, w efekcie czego znacznie wzrasta odporność warstw skalnych na wzajemne przesunięcia poziome i rozwarstwienia,
- ograniczanie możliwości rozwarstwiania się masywu przez jego skotwienie powoduje wykształcenie się nad wyrobiskiem wytrzymałej belki nośnej znacznie poprawiającej warunki utrzymania stateczności wyrobiska.
4. Techniczne rozwiązanie sposobu ściskania warstw skalnych jak również jej pełnego zespolenia z górotworem w praktyce polega na stosowaniu:
- kotwi prętowych o wysokiej nośności z naciąganiem wstępnym,
 - kotwi strunowych o wysokiej nośności rzędu 400–800 kN z naciąganiem wstępnym,
 - elementów podporowych obudowy z podpornością wstępną rzędu 200–500 kN,
 - dokładnego powiązania obudowy z górotworem przez zastosowanie np. worków (węzów) lub poduszek rozporowych,
 - zastosowanie betonu natryskowego na ocios wyrobiska z zabudowanymi kotwiami siatkami tak, aby utrzymać stateczność wyrobiska,
 - zastosowanie pełnej wykładki mechanicznej z materiałów budowlanych podawanych za odrzwia obudowy,
 - iniekcja spękanego górotworu dla połączenia struktur skalnych.
5. Rozwiązanie obudowy kotwowej i podporowo-kotwowej zespolonej z górotworem z podpornością wstępną stanowi nowoczesną alternatywę zapewnienia stateczności wyrobiska, w którym stosowane środki i metody są poprawione i bardziej efektywnie wykorzystane tak, że ochrona górotworu wokół wyrobiska powoduje zmniejszenie obciążenia obudowy ze strony deformującego się górotworu, a obudowa ma rosnącą podporność. Konstrukcje obudowy z systemem ochrony górotworu gwarantują zwiększoną stateczność wyrobisk oraz zwiększają odporność na oddziaływania w wyniku występujących zagrożeń górnictwowych i naturalnych.

Literatura

- Chudek i in. 2000 – Chudek, M., Duży, S., Kleta, H., Kleczek, Z., Stoiński, K. i Zorychta, A. 2000. *Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny*. Wydawnictwo Katedry Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice–Kraków–Katowice, s. 1–161.
- Duży, S. 2005. Ocena bezpieczeństwa konstrukcji wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego z uwzględnieniem zmienności warunków naturalnych i górniczych. *Warsztaty Górnicze 2005 r. z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”*, Kazimierz Dolny nad Wisłą, s. 243–256.
- Duży, S. 2007. Zachowanie się odrzwi stalowej obudowy podatnej w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu w świetle obserwacji dołowych. *Górnictwo i Geoinżynieria*, Rok 31, z. 3, s. 205–212.
- Drzęźła i in. 2000 – Drzęźła, B., Mendera, Z., Barchan, A., Głąb, L. i Schinohl, J. 2000. Obudowa górnicza. Zasady projektowania i doboru obudowy wyrobisk korytarzowych w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. *Wydawnictwo Górnicze*, Katowice.
- Głuch, P. 2015a. Advanced Support – Advanced Technology w systemie wysokowydajnego drążenia i utrzymania wyrobisk korytarzowych. *Materiały Konferencyjne – XXIV Szkoła Eksploatacji Podziemnej*, Kraków, 23–27.02.2015, CD-ROM, s. 1–10.
- Głuch, P. 2015b. Charakterystyka pracy odrzwi obudów podporowych spłaszczonych. *Materiały Konferencyjne – Akademia Obudowy*, Brenna, CD-ROM, s. 1–73.
- Głuch, P. 2015c. Technologiczne aspekty wykonywania wyrobisk korytarzowych w obudowach poszerzonych. *Materiały konferencyjne – Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego – XI Międzynarodowa Konferencja „Bezpieczeństwo pracy urzędów transportowych w górnictwie”*, Ustroń, Monografia rozdz. 21, s. 1–10.

- Głuch, P. 2015. Konstrukcja obudowy spłaszczonej LPS₁ i LPS_{3R} dla wyrobisk górniczych w warunkach dużej głębokości. *Materiały Konferencyjne – Wysoka Szkoła Baska, Seminarium pt. „Reinforcement, saling anchoring of rock massif and building structures 2015”* 12–13.02.2015, Ostrava, s. 50–57.
- Kudela i in. 2015 – Kudela, J., Horst, R., Krasucki, K., Śpiewak, T. i Głuch, P. 2015. Rozwiązanie obudowy spłaszczonej dla chodnika przyścianowego. *Materiały Konferencyjne – XXXVIII Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu, Karpacz 2015, „CUPRUM” Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwo Rud* nr 1(74), s. 41–52.
- Rułka, K. i in. 2001. Uprozczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach wydobywających węgiel kamienny. *Główny Instytut Górnictwa, Seria Instrukcje* nr 15, Katowice.