

Optymalizacja obudowy wyrobisk przyścianowych zlokalizowanych na głębokości większej niż 1000 m

Optimisation of gateroad support located at the depth below 1000 m



*Dr inż. Andrzej Walentek**



*Dr inż. Zbigniew Lubosik**

Treść: Eksploatacja węgla kamiennego w Polsce jest obecnie prowadzona na znacznej głębokości, nierzadko przekraczającej 1000 m. Sytuacja ta ma istotne znaczenie w kontekście utrzymania chodników przyścianowych, wiążąc się ze znaczną konwergencją pionową i poziomą, wynikającą z wpływu zwiększonego obciążenia ze strony górotworu. W warunkach koncentracji produkcji dla ścian wydobywczych zlokalizowanych na coraz to większych głębokościach presja zapewnienia funkcjonalności (w tym wymaganych gabarytów) chodników przyścianowych nieustannie wzrasta. W artykule przedstawiono całość procesu optymalizacji obudowy chodnika przyścianowego przeprowadzonego dla danych warunków geologiczno-górnictwa. Proces ten obejmował badania dołowe zachowania się obudowy chodnika zgodnej z projektem zaproponowanym przez Kopalnię. Zachowanie to scharakteryzowane zostało poprzez wielkość konwergencji, obciążenie obudowy, a także kształt oraz zasięg strefy spękań wokół wyrobiska. Rezultaty pomiarów stanowiły podstawę do kalibracji modeli numerycznych, które wykorzystano do optymalizacji systemu obudowy. W toku procesu optymalizacji analizowano: zabudowę dodatkowych wzmocnień (np. kotwy strunowe lub podciągi stalowe), zastosowanie odrzwi wykonanych ze stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych lub zmianę lokalizacji wzmocnień obudowy. Proces optymalizacji pozwolił na opracowanie nowych schematów obudowy charakteryzujących się: większą nośnością, korzystniejszym rozkładem naprężeń w elementach obudowy, redukcją obciążenia jednostkowego w odrzwiach oraz lepszym wykorzystaniem nośności poszczególnych wzmocnień. Ostatnim z etapów procesu optymalizacji była walidacja zaproponowanych rozwiązań przeprowadzona poprzez zastosowanie opracowanego schematu obudowy w analogicznych warunkach jak przy pierwszej serii badań dołowych.

Abstract: Extraction of hard coal in Polish mines is actually carried out at significant depth, often greater than 1000 m. Such a situation plays a major role in terms in gateroad maintenance, as usually cause significant vertical and horizontal convergence generated by considerable load values exerted on the support. With production being concentrated into high-performance longwalls, located at greater and greater depth, pressure to ensure the gateroads functionality (required dimensions) continues to increase. This paper presents the complete process of gateroad support optimisation carried out for given geological and mining conditions. The process consisted the underground investigations on performance of a support system designed by colliery. The performance is described by the gateroad convergence, support load, and shape and range of the fractured zone in rock mass around the longwall gateroad. The results of these investigations constituted the basis for calibration of numerical models, which were utilized for support scheme optimisation. The following means were considered during optimisation: implementation of additional reinforcements (flexible bolts, stringers etc.), steel parameters up-grading and change of location of reinforcements. The new support systems characterized by: increased load bearing capacity, improved stress distribution in particular support elements, reduced unit load exerted support elements (steel arches) and better utilization of load bearing capacity of particular support elements. The last stage of optimisation process was validation of developed solution by underground application and tests of new support system in analogical conditions as in first stage of optimisation process.

Słowa kluczowe:

obudowa, wyrobisko przyścianowe, optymalizacja

Key words:

support, gateroad, optimisation

*¹) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

1. Wprowadzenie

Przy stosowaniu systemu ścianowego w pokładach węgla kamiennego istotną rolę odgrywa prawidłowo zaprojektowana obudowa chodników przyścianowych. Obudowa ta powinna zapewnić w danych warunkach geologiczno-górnicznych stateczność i funkcjonalność wyrobiska w ciągu całego procesu wydobywczego. W procesie projektowania obudowy chodnikowej niezbędne jest dokonanie oceny parametrów technicznych wyrobiska takich jak: przeznaczenie wyrobiska, kształt i wymiary, pole przekroju poprzecznego, nośność obudowy, charakterystyka pracy odrzwi oraz odporność na korozję. Ponadto istotne jest również określenie parametrów geomechanicznych charakteryzujących własności skał, a także warunków górniczych, które odpowiadają za mechanizm oraz wartość obciążenia działającego na obudowę wyrobiska (Bigby 2004, Junker i in. 2009, Lawrence 2008, Barczak 2005).

Parametry techniczne zależą bezpośrednio od przyjętego systemu eksploatacji, wysokości prowadzenia ściany, sposobu przewietrzania, gabarytów urządzeń górniczych, wartości oczekiwanej konwergencji wyrobiska oraz zagrożeń naturalnych, które wpływają na warunki użytkowe wyrobiska (Szwedzicki 2005, Hucke i in. 2006, Hebblewithe, Lu, 2004). Parametry geotechniczne opisujące własności skał otaczających wyrobisko, jak również wartości i kierunek naprężeń w górotworze oraz obciążenia obudowy zależą od budowy geologicznej górotworu, głębokości, rodzaju skał, a także od wpływu zaszczości eksploatacyjnych (Cartwright, Bowler 1999, Colwell i in. 1999, Mark 1998, Snupek, Konecny 2010).

Wszystkie wymienione parametry stanowią dane wejściowe do empirycznych i numerycznych metod obliczeniowych. Zarówno obciążenie wywierane na obudowę, jak i nośność obudowy są obliczane za pomocą autorskich programów opartych na metodach empirycznych (Prusek 2010, Lubosik, Prusek 2010) oraz modelowaniu numerycznym (Bock i in. 2009, Walentek i in. 2009, Torano i in., 2002, Prusek 2008), natomiast parametry geotechniczne górotworu określa się na podstawie badań laboratoryjnych lub badań przeprowadzonych w warunkach *in situ*, za pomocą np. penetrometru hydraulicznego, endoskopu otworowego, dynamometru hydraulicznego, sondy ekstensometrycznej, rozwarstwieniomierza, kotwi oprzyrządowanej itd. (Bigby i in. 2011, Kukutsch i in. 2013, Bowler i in. 2008, Majcherzyk i in. 2006, 2008).

W polskim górnictwie węgla kamiennego w celu zabezpieczenia wyrobisk korytarzowych stosuje się głównie odrzwia obudowy łukowo-podatnej LP, wykonane z kształtownika typu V. Biorąc pod uwagę stale pogarszające się

warunki geologiczno-górniczne, coraz powszechniejsze staje się stosowanie dodatkowych wzmocnień odrzwi obudowy LP. W chodnikach przyścianowych, najczęściej przed frontem ściany, stosuje się dodatkowe wzmocnienia odrzwi za pomocą stojaków stalowych lub drewnianych oraz poprzez przykotwienie łuku stropnicowego obudowy do stropu. W przypadku chodników przyścianowych utrzymywanych za frontem ściany (ze względu na przewietrzanie lub powtórne jego wykorzystanie) w celu zwiększenia podporności obudowy stosuje się dodatkowe stojaki stalowe lub drewniane oraz pasy podpornościowe (Prusek i in. 2011). Wszystkie parametry obudowy, takie jak: typ, wielkość, nośność oraz schemat wzmocnienia, które mają wpływ na stabilność wyrobiska są określane w trakcie projektowania obudowy do konkretnych warunków geologiczno-górnicznych.

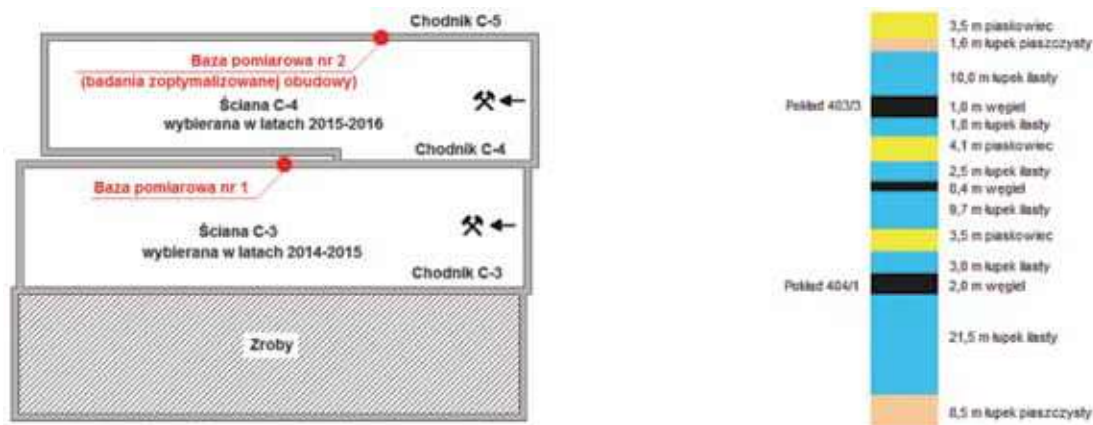
W niniejszym artykule przedstawiono przykład optymalizacji schematu zabudowy chodnika C-5, w oparciu o uzyskane wyniki badań dołowych w zakresie oceny jakości górotworu, konwergencji oraz obciążenia obudowy, przeprowadzone w sąsiednim chodniku C-4. Na podstawie określonego podczas badań mechanizmu deformacji chodnika C-4 oraz obliczeń numerycznych dobrano odpowiedni schemat wzmocnienia obudowy chodnika C-5, którego skuteczność została zweryfikowana i zbadana w warunkach dołowych. Oba chodniki były chodnikami podścianowymi dwóch kolejno wybieranych po sobie ścian C-3 i C-4, zlokalizowanymi w podobnych warunkach geologiczno-górnicznych. Badania rozpoczęły się około 200 m przed frontem ściany i trwały do momentu zbliżenia się frontu ściany do bazy pomiarowej.

2. Ocena zachowania górotworu oraz nośności obudowy chodnika C-4

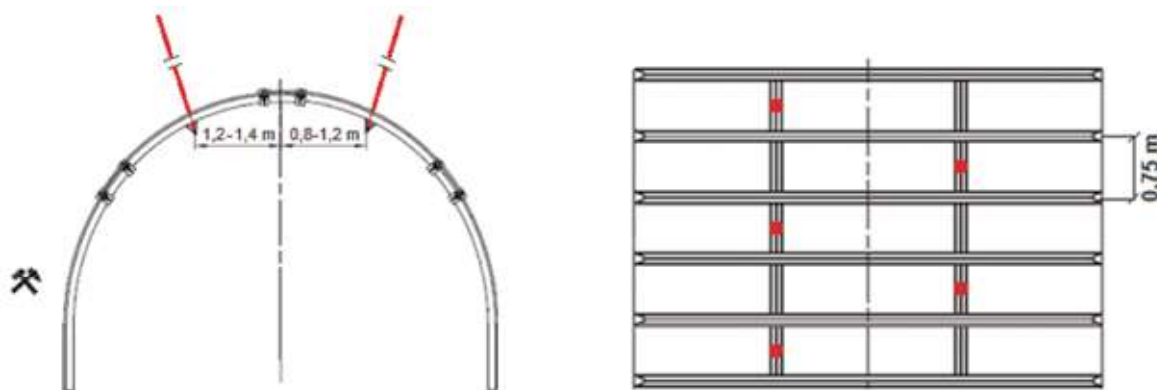
2.1. Warunki geologiczno-górniczne w rejonie ściany C-3 w pokładzie 404/1

Chodnik C-4 był wyrobiskiem podścianowym ściany C-3, w pokładzie 404/1 (rys. 1). Pokład ten w rejonie chodnika C-4 zalega na głębokości od 960 do 1010 m i nachylony jest w kierunku północno-wschodnym pod kątem od 2 do 12°. Ściana C-3 o długości 250 m wybierana była na wysokość do 2,0 m na wybiegu równym 1050 m.

W rejonie ściany C-3, w odległości do 160 m nad pokładem 404/1, prowadzono wcześniej eksploatację w pokładach: 401/1, 363, 361 oraz 360/1, które miały wpływ na wartość naprężeń panujących wokół wyrobiska. Poniżej pola ściany, do głębokości 60 m dotychczas nie prowadzono żadnej eksploatacji.



Rys. 1. Szkic mapy pokładu 404/1 w rejonie ściany C-3 oraz profil geologiczny skał w otoczeniu pokładu
Fig. 1. Sketch of map of seam 404/1 in the area of longwall C-3 and geological profile of rocks



Rys. 2. Schemat obudowy chodnika C-4 w pokładzie 404/1
Fig. 2. Support scheme - gateroad C-4 seam 404/1

W stropie pokładu 404/1 zalegają warstwy: łupku ilastego (3,0 m), piaskowca (3,5 m) oraz ponownie łupku ilastego (9,7 m). Spąg bezpośredni wykształcony jest w postaci warstwy łupku ilastego o grubości 21,5 m (rys. 1). Wyniki przeprowadzonych badań penetrometrycznych wykazały, że skały stropowe (do wysokości 10 m) w analizowanym rejonie pokładu 404/1 posiadały średnią wytrzymałość na ściskanie równą 49,6 MPa. W przypadku skał spągowych wytrzymałość ta wynosiła 23,6 MPa, natomiast węgiel pokładu 404/1 charakteryzował się wytrzymałością rzędu 9,35 MPa.

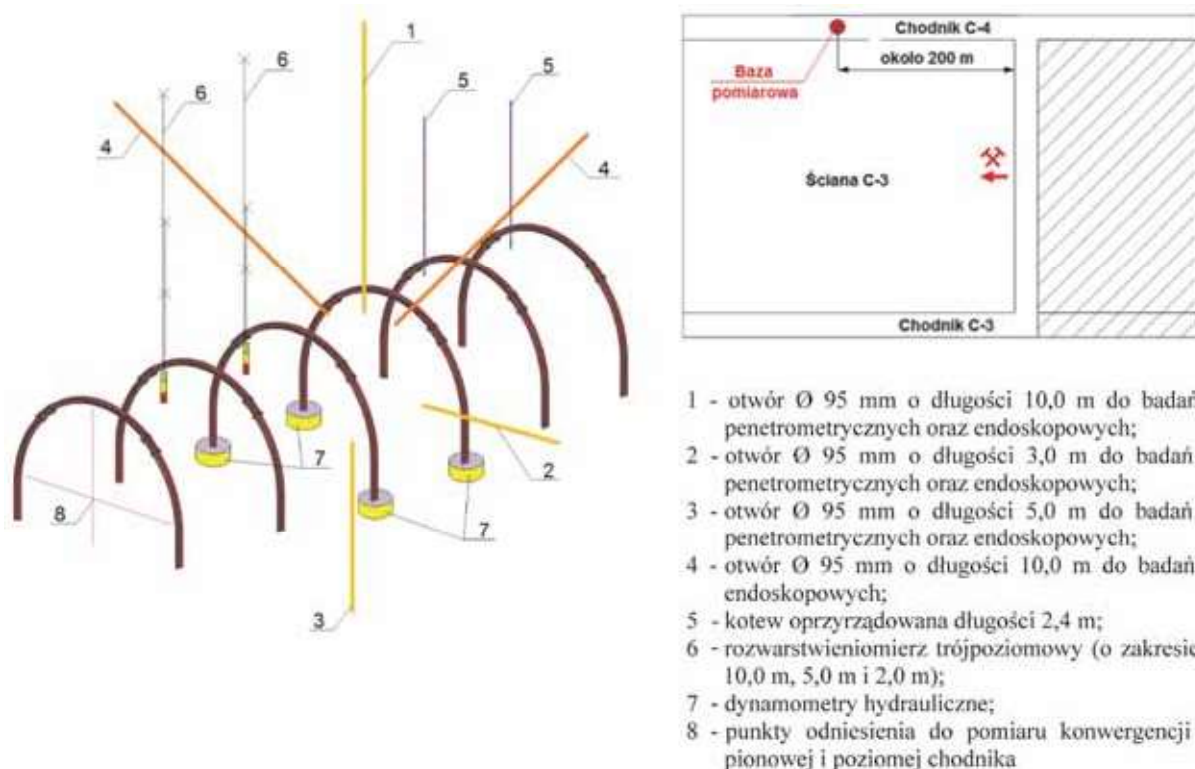
Obudowę chodnika C-4 stanowiły stalowe odrzwia typu ŁP12, wykonane z kształtownika V32 ze stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych S480W, budowane w rozstawie 0,75 m. Dodatkowo odrzwia obudowy wzmocnione były dwoma podciągami stalowymi wykonanymi z kształtownika V25, przykotwionymi do stropu kotwiami strunowymi o długości 6,0 m, co każde pole międzyodrzwiowe, na przemian raz z prawej a raz z lewej strony (rys. 2).

2.2. Badania dołowe w chodniku C-4

2.2.1. Metodyka badań dołowych

Pomiary deformacji górotworu wokół chodnika C-4 oraz obciążenia działającego na obudowę przeprowadzono w bazie pomiarowej, która została założona w odległości 200 m przed frontem ściany C-3 (rys. 3).

W przedstawionej na rysunku 3 bazie pomiarowej zlokalizowanej w chodniku C-4 wykonano pomiary: wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie skał stropowych, spągowych oraz węgla (za pomocą penetrometru hydraulicznego), konwergencji pionowej i poziomej chodnika (z wykorzystaniem reperów pomiarowych), przemieszczeń stropu (za pomocą rozwarstwieniomierzy trójpoziomowych), zasięgu strefy spękań (za pomocą endoskopu otworowego), obciążenia odrzwi obudowy ŁP (za pomocą dynamometrów hydraulicznych), a także sił osiowych w oprzyrządowanej kotwi stalowej wklejanej na całej długości. Pomiary przeprowadzono cyklicznie



Rys. 3. Schemat i lokalizacja bazy pomiarowej w chodniku C-4
Fig. 3. Scheme and localisation of the measurement station in the gateroad C-4

w przyjętych odstępach czasowych, uzależnionych od dobowego postępu frontu ściany.

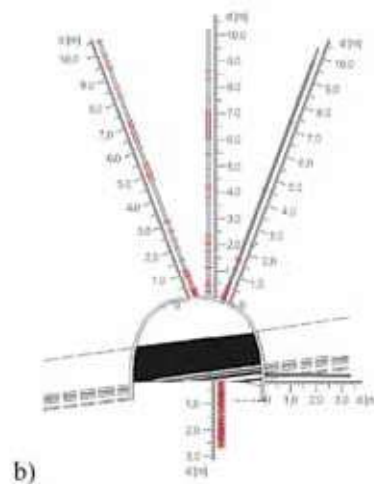
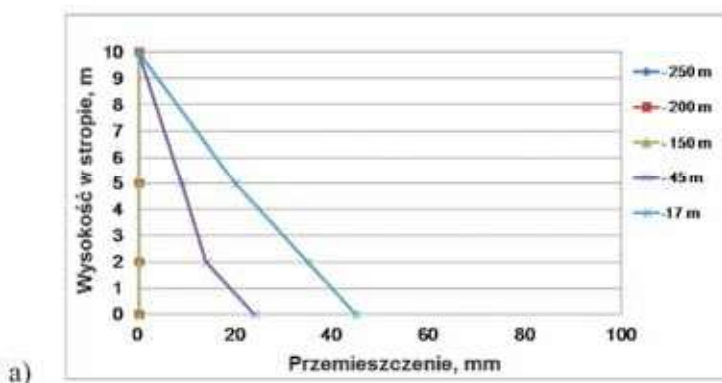
2.2.2. Wyniki badań dołowych w chodniku C-4

Pomiary w chodniku C-4 zostały przeprowadzone w okresie od listopada 2014 do stycznia 2015 roku. Wyniki

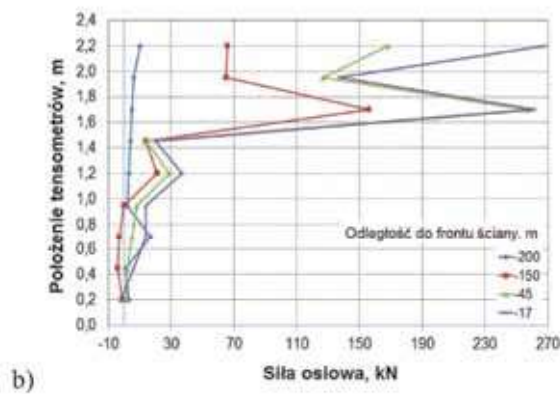
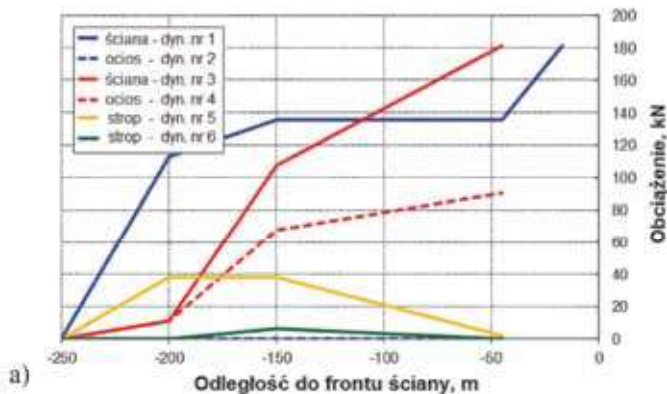
tych pomiarów zaprezentowano w postaci wykresów: zmian wysokości i szerokości chodnika (rys. 4), wartości osiadań skał zalegających w pułapie chodnika (rys. 5a), zasięgu strefy spękań górotworu wokół chodnika (rys. 5b), zmian obciążenia odrzwi obudowy ŁP (rys. 6a) oraz rozkładu sił osiowych w kotwi oprzyrzadowanej (rys. 6b).



Rys. 4. Rezultaty pomiarów deformacji chodnika C-4
Fig. 4. Results of gateroad C-4 deformation measurements



Rys. 5. Rezultaty pomiarów osiadania stropu (a) oraz zasięgu strefy spękań górotworu wokół chodnika C-4 (b)
Fig. 5. Results of measurements of roof displacement (a) and fissures propagation (b) around the gateroad C-4



Rys. 6. Rezultaty pomiarów obciążenia obudowy w chodniku C-4 – obudowa podporowa LP (a) i obudowa kotwiowa (b)
Fig. 6. Results of support load measurements in gateroad C-4 – standing support LP (a) and rockbolt (b)

Przedstawione powyżej wyniki pomiarów pokazują wyraźny wpływ ciśnienia eksploatacyjnego na zachowanie chodnika C-4. Maksymalna wartość konwergencji pionowej, po uwzględnieniu pobierki spągu (do 0,8 m) przeprowadzonej w odległości 150 m przed frontem ściany wynosiła 1197 mm, natomiast konwergencja pozioma osiągnęła 1050 mm (rys. 4). Pomiarów dołowych wykazały, że istotny udział w konwergencji pionowej chodnika miało wypiętrzenie spągu, które stanowiło około 94% całkowitej utraty wysokości wyrobiska. Fakt ten potwierdziły również wskazania rozwarstwieniomierzy trójpoziomowych, które w odległości 17 m przed frontem ściany wskazały maksymalną wartość osiadania stropu równą 45 mm (rys. 5a). W oparciu o wyżej podane wyniki pomiarów deformacji chodnika obliczono minimalną wartość pola przekroju poprzecznego w rejonie skrzyżowania ze ścianą C-3. Ma to istotne znaczenie podczas projektowania wentylacji dla wyrobiska ścianowego, zwłaszcza w przypadku gdy eksploatacja prowadzona jest w pokładach o wysokim zagrożeniu metanowym. Utrata pola powierzchni przekroju chodnika, po uwzględnieniu pobierki spągu wynosiła 41% (z 21,78 m² do 12,92 m²). W przypadku niewykonania przez kopalnię pobierki spągu pole powierzchni przekroju chodnika wyniosłoby 9,51 m² (redukcja o 56%). Taka sytuacja mogłaby prowadzić do znacznych utrudnień z zapewnieniem odpowiedniej wentylacji w całym rejonie wydobywczym.

Wyniki badań endoskopowych w chodniku C-4 (rys. 5b) wykazały, że wpływ eksploatacji ścianowej nie wywołał istotnego wzrostu zasięgu strefy spekań górotworu, a jedynie wzrost liczby spekań. W analizowanym przypadku zasięg strefy spekań skał stropowych, zarówno podczas pierwszego, jak i ostatniego pomiaru, wynosił 8,6 m. Jednakże zmianie uległa liczba spekań, która wzrosła z 11 do 30 podczas ostatniego pomiaru.

Analiza wyników pomiarów dotyczących obciążenia odrzwi obudowy LP (rys. 6a), prowadzonych za pomocą dynamometrów hydraulicznych wskazuje, że pierwsze przejawy oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego zaobserwowano w odległości około 200 m przed frontem ściany. Od tego momentu następował systematyczny wzrost wartości obciążenia obudowy. Całkowite maksymalne obciążenie przypadające na pojedyncze odrzwia LP, zabudowane w rozstawie 0,75 m wynosiło 272 kN (362 kN/m). Wartości te nie przekraczały maksymalnej dopuszczalnej nośności odrzwi zastosowanych w chodniku C-4, która wynosi 520 kN/m. Ponadto, na podstawie uzyskanych przebiegów zmian wartości obciążenia odrzwi, można stwierdzić, że oddziaływało ono na obudowę w sposób asymetryczny, gdzie największe wartości obciążeń występowały na ociosie usytuowanym po stronie wyrobiska ścianowego.

Maksymalna wartość siły osiowej w badanej kotwi oprzyrządowanej (rys. 6b) przekroczyła maksymalną nośność kotwi określoną przez producenta na poziomie 180 kN i osiągnęła wartość 270 kN. Wszystkie zarejestrowane wartości sił osiowych w kotwi stanowiły siły rozciągające. Maksymalne ich wartości zanotowano na odcinku kotwi pomiędzy 1,45 i 1,9 m. Ponadto, znaczny wzrost wartości sił osiowych w kotwi oprzyrządowanej zaobserwowano w momencie gdy front ściany C-3 znajdował się w odległości około 45 m od bazy pomiarowej.

3. Modelowanie numeryczne mechanizmu deformacji chodnika oraz optymalizacja schematu obudowy

3.1. Modelowanie numeryczne mechanizmu deformacji chodnika C-4

Mechanizm deformacji chodnika C-4 został określony w oparciu o uzyskane wyniki badań dołowych oraz obliczenia numeryczne obudowy metodą elementów skończonych za pomocą programu COSMOS/M (COSMOS/M 1999). W trakcie obliczeń numerycznych w modelu dyskretnym porównywano otrzymane reakcje odrzwi na podłoże z wynikami pomiarów obciążenia obudowy przeprowadzonymi w warunkach *in situ*.

W celu przeprowadzenia obliczeń wytrzymałościowych obudowy, w programie CAD, zbudowano model odwzorowujący konstrukcję schematu obudowy zastosowanej w chodniku C-4. Przygotowany model geometryczny zaimportowano do programu COSMOS/M, który między innymi oblicza naprężenia zredukowane σ_{red} według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego. Poszczególnym elementom schematu obudowy przypisano odpowiednie parametry przekrojowe i materiałowe. Obliczone wartości naprężeń zredukowanych σ_{red} nie mogą przekroczyć wartości naprężeń dopuszczalnych σ_{dop}

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{dop}$$

Naprężenia dopuszczalne σ_{dop} , jakie są w stanie przenieść elementy odrzwi bez utraty stateczności kształtownika można określić z zależności:

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e \cdot (m + n)}{\gamma_s}$$

Dla zastosowanych kształtowników w schemacie obudowy obliczono współczynnik materiałowy γ_s oraz materiałowy współczynnik uplastycznienia n . Ich wartości dla stali stosowanych w obudowach górniczych zostały przyjęte zgodnie z normami PN-H-93441-1 i PN-H-84042 (Polska Norma 1994, Polska Norma 2009).

Współczynnik rezerwy plastycznej przekroju m jest ściśle związany z kształtem przekroju poprzecznego elementu obudowy – łuku odrzwi. Jest on równy stosunkowi wskaźnika oporu plastycznego do wskaźnika wytrzymałości przekroju na zginanie:

$$m = \frac{W_{pl}}{W_x}$$

Przy czym wskaźnik oporu plastycznego jest równy sumie bezwzględnych wartości momentów statycznych ściskanej S_c i rozciąganej S_r strefy przekroju względem osi obojętnej w stanie pełnego uplastycznienia. Zatem można napisać:

$$W_{pl} = |S_c| + |S_r|$$

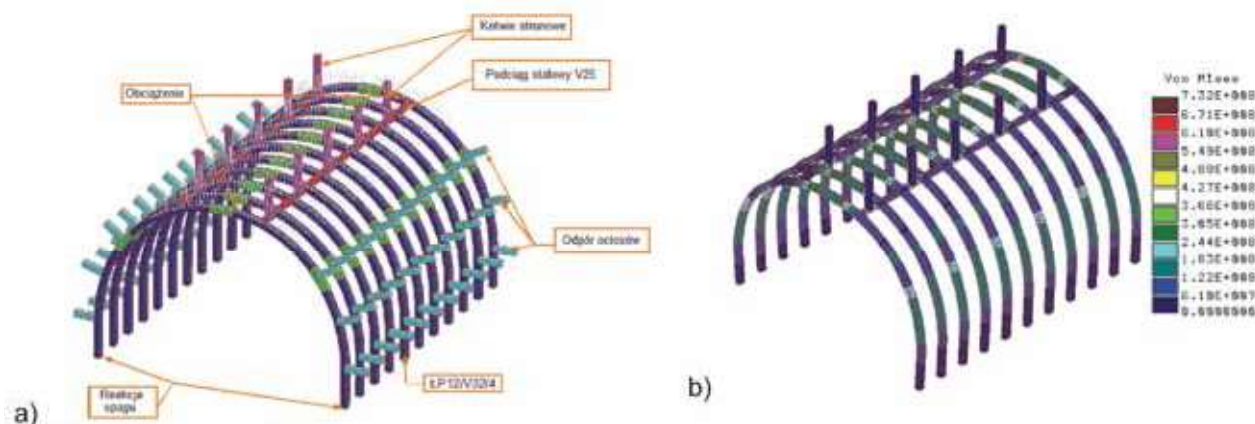
Na rysunku 7 przedstawiono model numeryczny zastosowanego w chodniku C-4 schematu obudowy oraz wyniki obliczeń w postaci rozkładu naprężeń we wszystkich elementach obudowy.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń numerycznych, a także szczegółowo przeprowadzonej analizy warunków geologiczno-górnich oraz wyników pomiarów dołowych określono mechanizm deformacji chodnika C-4 (rys. 8), to znaczy rozkład obciążenia wywieranego na obudowę i kierunek przemieszczenia obudowy.

Z analizowanego przypadku wynika, że obudowa chodnika była obciążona asymetrycznie, co prowadziło do przemieszczenia się odrzwi w kierunku ściany.

3.2. Optymalizacja schematu obudowy chodnika C-4

W celu opracowania optymalnego systemu obudowy dla chodnika C-4, w oparciu o określony wcześniej mechanizm deformacji wyrobiska, wykonano szereg obliczeń na modelach numerycznych obudowy z uwzględnieniem: dodatkowych elementów (kotwi) wzmacniających schemat obudowy, zmiany gatunku stali i wielkości kształtowników, z których wykonane zostały odrzwia i podciąg, a także zmiany położenia podciągów wzmacniających odrzwia. Przeanalizowane



Rys. 7. Model obudowy (a) oraz rozkład naprężeń zredukowanych w elementach obudowy (b) - chodnik C-4
 Fig. 7. Support model (a) and reduced stress distribution in support elements (b) - gateroad C-4



Rys. 8. Mechanizm deformacji chodnika C-4
 Fig. 8. Mechanisms of gateroad C-4 deformations

w ten sposób nowo opracowane schematy obudowy charakteryzuje: zwiększona nośność, poprawa rozkładu naprężeń w poszczególnych elementach obudowy w wyniku zastosowania dodatkowych wzmocnień, zmniejszona wartość obciążenia działającego na pojedyncze odrzwia obudowy oraz lepsze wykorzystanie nośności poszczególnych elementów obudowy. Wyniki optymalizacji schematów obudowy dla chodnika C-4 przedstawiono w tabeli 1.

Analiza uzyskanych wyników obliczeń numerycznych wykazała, że nośność zastosowanego przez kopalnię schematu obudowy w chodniku C-4, może być zwiększona o około 26%, poprzez zmianę profili przykotwionych podciągów stalowych z V25 na V29, jak również zmianę ich lokalizacji oraz zastosowania dodatkowej kotwi strunowej (tablica 1 - wariant 7). Niemniej porównanie różnych schematów optymalizacyjnych pokazuje, że wprowadzenie dodatkowych kotwi strunowych lub zamiana profilu stropnicy poprawiła w tym przypadku

nośność schematu obudowy zaledwie od 1,5 do 4,0%. Biorąc pod uwagę koszty związane ze zmianą profili podciągów oraz instalowania dodatkowych kotwi strunowych, kopalnia zdecydowała się na zastosowanie wariantu nr 5, który zakładał jedynie zmianę położenia przykotwionych podciągów stalowych, a który pozwolił na zwiększenie nośności schematu obudowy o około 18%.

4. Badania dołowe zoptymalizowanego schematu obudowy

4.1. Warunki geologiczno-górnice w rejonie prowadzonych pomiarów w chodniku C-5

Testy zoptymalizowanego schematu obudowy przeprowadzono w chodniku C-5, który był wyrobiskiem podścianowym ściany C-4 w pokładzie 404/1 (rys. 1). Ściana C-4 prowadzona

Tabela 1. Rezultaty optymalizacji schematu obudowy - chodnik C-4
 Table 1. Results of support scheme optimisation - gateroad C-4

Wariant	Zakres optymalizacji schematu obudowy	Przyrost podporności
1	– zmiana typu profilu w podciągu z V25 na V29	1,5%
2	– zmiana typu profilu w podciągu z V25 na V29 – zmiana materiału w stropnicy obudowy (Re= 550MPa, Rm= 730 MPa)	11,0%
3	– dodatkowa kotew strunowa instalowana po stronie wyrobiska ścianowego	4,0%
4	– dodatkowa kotew strunowa instalowana po stronie przeciwnej do wyrobiska ścianowego	2,0%
5	– zmiana lokalizacji przykotwionych podciągów	18,0%
6	– zmiana lokalizacji przykotwionych podciągów – zmiana typu profilu w podciągu z V25 na V29	24,0%
7	– zmiana lokalizacji przykotwionych podciągów – zmiana typu profilu w podciągu z V25 na V29 – dodatkowa kotew strunowa	26,0%

była wzdłuż zrobów zawałowych ściany C-3, w której przeprowadzono wcześniej opisane badania dołowe. Warunki geologiczno-górnice w rejonie ściany C-4 były podobne jak w ścianie C-3. Ściana C-4 prowadzona była na wysokość do 2,0 m, jej długość wynosiła 250 m, a wybieg około 1014 m. Chodnik C-5 zlokalizowany był około 20 m głębiej niż chodnik C-4. Przeprowadzone badania wytrzymałościowe skał w otoczeniu chodnika C-5 za pomocą penetrometru hydraulicznego nie wykazały istotnych różnic w stosunku do wyników badań uzyskanych w chodniku C-4. A zatem można przyjąć, że testy dołowe zoptymalizowanego schematu obudowy odbywały się w porównywalnych warunkach geologiczno-górnicych.

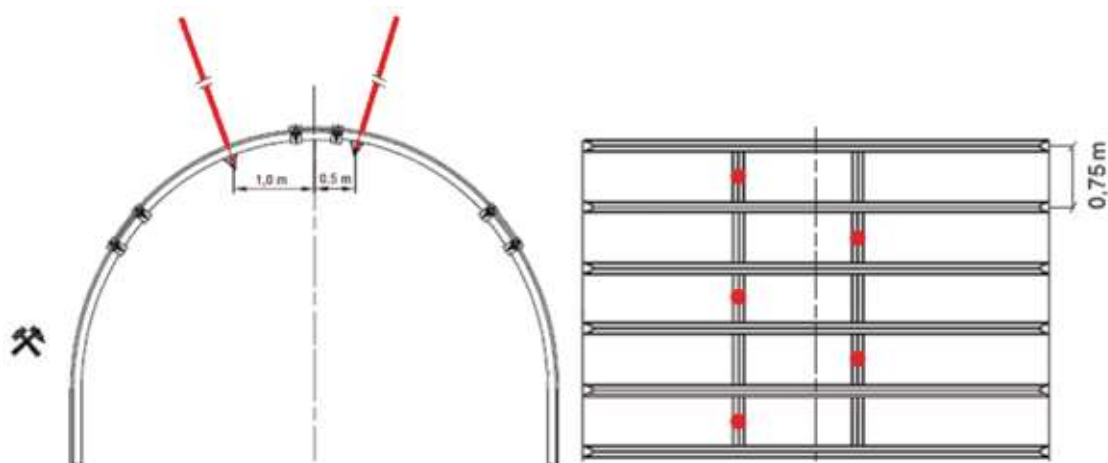
Zoptymalizowany schemat obudowy zastosowany w chodniku C-5 przedstawiono na rysunku 9. Obudowę podstawową stanowiły odrzwia ŁP12/V32/4 budowane w rozstawie 0,75 m, a więc identycznie jak w chodniku C-4. Odrzwia zostały wzmocnione dwoma rzędami podciągów stalowych wykonanych z kształtownika V25, które zostały przykotwione do

stropu kotwiami strunowymi o długości 6,0 m, co każde pole między odrzwiowe, na przemian raz z prawej, a raz z lewej strony. Podciągi stalowe usytuowane były asymetrycznie względem osi wyrobiska w odległości 1,0 m w kierunku ociosu ścianowego oraz 0,5 m w kierunku ociosu przeciwnego.

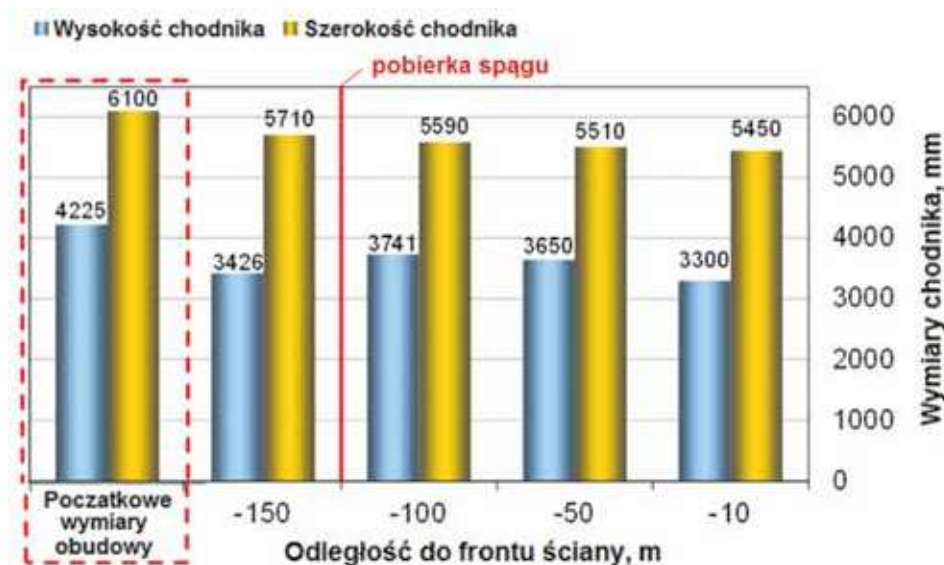
Układ bazy pomiarowej w chodniku C-5 był również taki sam jak w chodniku C-4 (rys. 3), co pozwoliło na wykonanie identycznego zakresu badań dołowych.

4.2. Wyniki badań dołowych w chodniku C-5

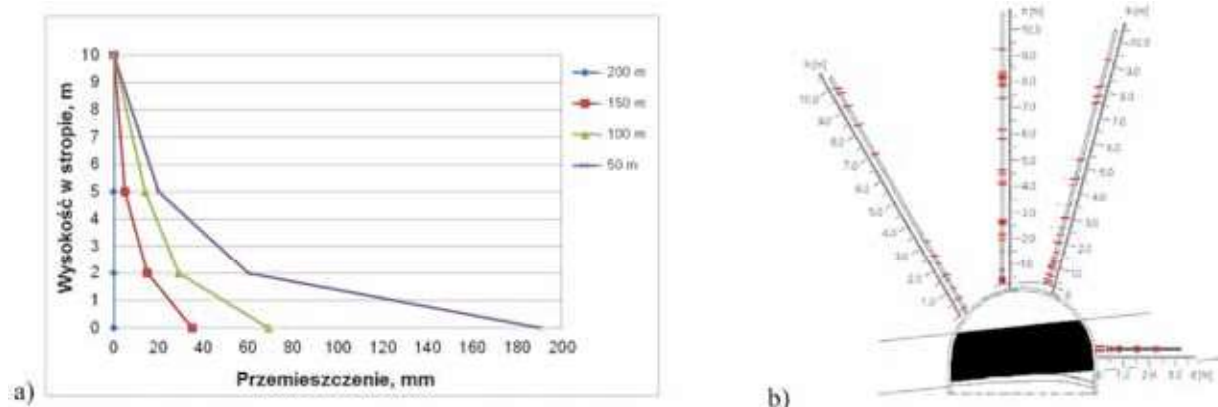
Pomiary w chodniku C-5 zostały przeprowadzone w okresie od stycznia 2016 do marca 2016 roku. Wyniki tych pomiarów zaprezentowano w postaci wykresów: zmian wysokości i szerokości chodnika (rys. 10), wartości osiadań skał zalegających w pułapie chodnika (rys. 11a), zasięgu strefy spękań górotworu wokół chodnika (rys. 11b), zmian obciążenia odrzwi obudowy ŁP (rys. 12a) oraz rozkładu sił osiowych w kotwi oprzyrządowanej (rys. 12b).



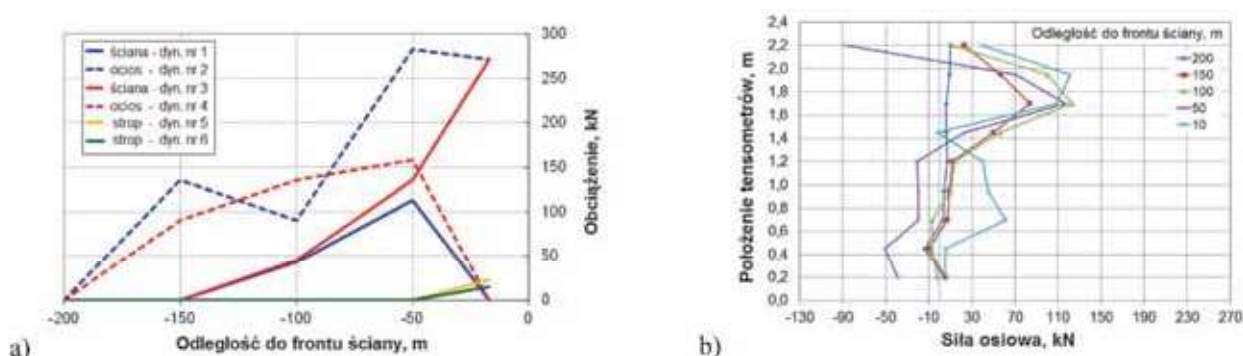
Rys. 9. Schemat obudowy zastosowanej w chodniku C-5
Fig. 9. Support scheme used in gateroad C-5



Rys. 10. Rezultaty pomiarów deformacji chodnika C-5
Fig. 10. Measurement results of gateroad C-5 deformation



Rys. 11. Rezultaty pomiarów osiadania stropu (a) oraz zasięgu strefy spękań górotworu wokół chodnika C-5
 Fig. 11. Results of measurements of roof displacement (a) and fissures propagation (b) around the gateroad C-5



Rys. 12. Rezultaty pomiarów obciążenia obudowy podporowej LP (a) oraz kotwiowej (b) w chodniku C-5
 Fig. 12. Results of measurements of arch LP (a) and rockbolt (b) support load for gateroad C-5

Przedstawione powyżej wyniki pomiarów pokazują, że maksymalna wartość konwergencji pionowej w chodniku C-5, po uwzględnieniu pobierki spągu (do 0,8 m) przeprowadzonej w odległości 150 m przed frontem ściany, wynosiła 925 mm, natomiast konwergencji poziomej 650 mm (rys. 10). Podobnie jak w przypadku chodnika C-4, istotny udział w konwergencji pionowej chodnika C-5 miało wypiętrzenie spągu. Potwierdziły to również wskazania rozwarstwieniomierny trójpoziomowych, które w odległości 50 m przed frontem ściany wskazywały maksymalną wartość osiadania stropu równą 190 mm (rys. 11). W przypadku chodnika C-5 utrata pola powierzchni przekroju chodnika, po uwzględnieniu pobierki spągu wynosiła 30% (z 21,78 m² do 15,2 m²), natomiast bez pobierki spągu 47% (11,5 m²). W związku z tym stwierdzić można, że opracowany schemat obudowy wpłynął pozytywnie na konwergencję chodnika C-5, co pozwoliło uzyskać pole powierzchni przekroju o 2,3 m² większe w stosunku do chodnika C-4 (konwergencja wyrażona w metrach kwadratowych pola powierzchni przekroju poprzecznego była o 25% niższa).

Wyniki badań endoskopowych w chodniku C-5 (rys. 11b) wykazały, że od około 150 m przed frontem ściany C-4 nie zaobserwowano znacznego wzrostu zasięgu strefy spękań górotworu. Zasięg strefy spękań w odległości około 150 m przed frontem ściany wynosił 8,5 m, natomiast podczas ostatniego pomiaru wykonanego w odległości około 10 m przed frontem ściany, zasięg zwiększył się do wysokości 9,2 m.

Analiza wyników pomiarów dotyczących obciążenia odrzwi obudowy LP (rys. 12a), prowadzonych za pomocą dynamometrów hydraulicznych wskazuje, że pierwsze oddziaływanie ciśnienia eksploatacyjnego zaobserwowano w odległości około 150 m przed frontem ściany. Od tego mo-

mentu następował systematyczny wzrost wartości obciążenia obudowy. Całkowite maksymalne obciążenie przypadające na pojedyncze odrzwia LP, zabudowane w rozstawie 0,75 m wynosiło 369 kN (528 kN/m) i wartość ta była większa od maksymalnej dopuszczalnej nośności odrzwi zastosowanych w chodniku C-5, która wynosi 520 kN/m.

Maksymalna wartość siły osiowej w badanej kotwi oprzyrządowanej (rys. 12b) wynosiła 147 kN i nie przekroczyła maksymalnej nośności kotwi. Wszystkie zarejestrowane wartości sił osiowych w kotwi stanowiły siły rozciągające. Maksymalne ich wartości zanotowano na odcinku kotwi pomiędzy 1,6 i 1,9 m. Ponadto, znaczny wzrost wartości sił osiowych w kotwi oprzyrządowanej zaobserwowano w momencie, gdy front ściany C-4 znajdował się w odległości około 150 m od bazy pomiarowej.

5. Wnioski

W procesie projektowania obudowy wyrobiska korytarzowego zlokalizowanego w warunkach dużych przemieszczeń górotworu (np. osiadanie stropu, wypiętrzenie spągu i konwergencja pozioma), w wyniku oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego istotne jest dobranie optymalnego schematu obudowy, który zapewni stateczność i funkcjonalność wyrobiska w całym okresie jego istnienia oraz bezpieczeństwo pracy górników. Przedstawiony w artykule sposób projektowania obudowy chodnikowej, w oparciu o wyniki badań dołowych oraz modelowanie numeryczne, umożliwi zoptymalizowanie schematu obudowy chodnika podścianowego pod kątem jego nośności oraz kosztów wykonania. Optymalizacja schematu

obudowy polegała na odpowiedniej lokalizacji przykotwionych podciągów stalowych, co w rezultacie wpłynęło na zmniejszenie konwergencji chodnika o 25%.

Na podstawie przedstawionych rezultatów badań i analiz stwierdzić można, że modelowanie numeryczne oparte na prawidłowo określonych parametrach wejściowych modelu (badania *in situ*), pozwala na optymalne zaprojektowanie schematu obudowy chodnika zlokalizowanego w konkretnych warunkach geologiczno-górnicych.

Podziękowania

W artykule wykorzystano wyniki prac wykonanych przez Główny Instytut Górnictwa i Jastrzębską Spółkę Węglową S.A. w ramach realizacji projektu AMSSTED: „Zaawansowane systemy obudowy górniczej dla poprawy kontroli górotworu w warunkach dużych naprężeń” (Advancing Mining Support Systems to Enhance the Control of Highly Stressed Ground). Projekt współfinansowany był przez Fundusz Badawczy dla Węgla i Stali – Research Fund for Coal and Steel (kontrakt nr RFCR-CT-2013-00001) oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (umowa nr 3146/FBWiS/2014/2).

Literatura

- BARCZAK T. M. 2005 - An overview of standing roof support practices and developments in the United States. Proceedings of the Third South African Rock Engineering Symposium, South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 301–334.
- BIGBY D. 2004 - Coal mine roadway support system handbook. Rock Mechanics Technology for the Health and Safety Executive, Research Report 229a.
- BIGBY D., HURT K., MACANDREW K. 2011 - The Autowarning Telltale: A New Safety Monitoring Device for Pillar Extraction Operations. Proceedings of the 30th International Conference on Ground Control in Mining. West Virginia University, Morgantown, USA.
- BOCK S., PRUSEK S., ROTKEGEL M. 2009 - Design and Control of Working Support in Polish Coal Mines Based on Three - Dimensional Numerical Modeling. 28th International Conference on Ground Control in Mining, USA, Morgantown, pp. 113-120.
- BOWLER J., BETTS D., ALTOUNYAN P. 2008 - Innovation in rib support systems: the development of enhanced support for high deformation gateroads at Daw Mill Colliery. Proceedings of International Mining Symposia - Rockbolting in Mining & Injection Technology and Roadway Support Systems, Aachen, Germany: RWTH, pp. 425–439.
- CARTWRIGHT P., BOWLER J. 1999 - The development and use of risk assessment techniques to assess roadway stability in the Parkgate Seam at Thoresby Colliery. Proceedings of the 18th International Conference on Ground Control in Mining, West Virginia University, Morgantown, USA.
- COLWELL M., FIRTH R., MARK C. 1999 - Analysis of longwall tailgate serviceability (ALTS): A chain pillar design methodology for Australian conditions. U.S. Department of health and human services, Pittsburgh.
- COSMOS/M, 1999, 'User's Guide', Structural Research & Analysis Corp, Los Angeles, USA.
- HEBBLEWITHE B. K., LUT. 2004 - Geomechanical behaviour of laminated weak coal mine roof strata and the implications for a ground reinforcement strategy, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, No 41, pp. 147-157.
- HUCKE A., STUDENY A., RUPPEL U., WITTHAUS H. 2006 - Advanced Prediction Methods for Roadway Behaviour by Combining Numerical Simulation. Physical Modelling and In-Situ Monitoring, 25th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV, USA.
- JUNKER M., i in. 2009 - Strata control in-seam roadways. VGE Verlag GmbH, Essen.
- KUKUTSCH R., SOUCEK K., KONICEK P., PTACEK J., WACLAWIK P., SNUPAREK R. 2013 - Geomechanical and geotechnical evaluation of maingate No. 0805253 monitoring in the conditions of the Paskov mine. Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment, Taylor&Francis Group, London.
- LAWRENCE W. 2008 - A method for the design of longwall gateroad roof support. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 46, Issue 4, pp. 789–795.
- LUBOSIK Z., PRUSEK S. 2010 - Geometrical Description of Gateroad Roof Sag. Proceedings of the 29th International Conference on Ground Control in Mining. West Virginia University, Morgantown, USA.
- MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDBALSKI Z. 2006 - Ruchy górotworu i reakcje obudowy w procesie niszczenia skał wokół wyrobisk korytarzowych na podstawie badań „In situ”, wyd. AGH, Kraków.
- MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDBALSKI Z. 2008 - Badania nowych rozwiązań technologicznych w celu rozrzedzenia obudowy podporowej w wyrobiskach korytarzowych, wyd. AGH Kraków.
- MARK CH., 1998 - Comparison of Ground Conditions and Ground Control Practices in the United States and Australia, Proceedings of the 17th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia University, pp.63-71.
- Polska Norma PN-H-84042: Stale mikrostopowe na kształtowniki i akcesoria górnicze. PKN, Warszawa, luty 2009.
- Polska Norma PN-H-93441-1 Kształtowniki stalowe walcowane na goraco dla górnictwa – Ogólne wymagania i badania. PKN, Warszawa, grudzień 1994.
- PRUSEK S. 2008 - Modification of parameters in the Hoek-Brown failure criterion for gate road deformation prediction by means of numerical modeling. Glückauf, No. 9, pp. 529-534.
- PRUSEK S. 2010 - Empirical-statistical model of gate roads deformation. Archiwum Górnictwa, Issue 2, Cracow, pp. 295-312.
- PRUSEK S., LUBOSIK Z., DVORSKY P., HORAK P. 2011 - Gateroad support in the Czech and Polish coal mining industry – present state and future developments. Proceedings of the 30th International Conference on Ground Control in Mining. West Virginia University, Morgantown, USA.
- SNUPAREK R., KONECNY P. 2010 - Stability of roadways in coalmines alias rock mechanics in practice. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, www.rockgeotech.org.
- SZWEDZICKI T. 2005 - Reviewing support requirements for existing excavations in underground mines. Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Vol. 114, pp. 21-27.
- TORAÑO J., i in. 2002 - FEM modeling of roadways driven in a fractured rock mass under a longwall influence. Computers and Geotechnics, No. 29, pp. 411-431.
- WALENTEK A., LUBOSIK Z., PRUSEK S., MASNY W. 2009 - Numerical modelling of the range of rock fracture zone around gateroads on the basis of underground measurements results. Proceedings of the 28th International Conference on Ground Control in Mining, West Virginia University, Morgantown, USA.

Artykuł wpłynął do redakcji – grudzień 2016
Artykuł akceptowano do druku 15.01.2017