

Ocena pracy obudowy zmechanizowanej na podstawie danych z monitoringu ciśnień i postępu sekcji

Assessment of shield support operations based on pressure monitoring and its advance



Dr inż. Marek Płonka*)



Dr inż. Sylwester Rajwa*)



Dr inż. Zbigniew Lubosik*)

Treść: Przedstawiono prawidłowy cykl pracy obudowy zmechanizowanej. Omówiono wybrane, stosowane w Polsce i za granicą systemy pomiarowe monitorujące pracę obudowy zmechanizowanej, oraz możliwości i sposoby rejestracji danych, cele monitorowania i jego wykorzystanie pod kątem prawidłowej współpracy obudowy z górotworem. Scharakteryzowano warunki geologiczno-górnictwa, sekcje obudowy zmechanizowanej kompleksu strugowego stosowane w LW „Bogdanka” w ścianach prowadzonych w pokładzie 385/2 oraz zastosowany tam system pomiaru i rejestrowania parametrów jej pracy. Na podstawie autorskiego oprogramowania, umożliwiającego m.in. identyfikację poszczególnych cykli pracy każdej sekcji obudowy zmechanizowanej, sporządzono rozkłady wartości ciśnień maksymalnych, zarejestrowanych w poszczególnych sekcjach obudowy zmechanizowanej w odniesieniu do powierzchni pól ścianowych. Szczegółnej analizie poddano dane rejestrowane w okresach pojawiania się lokalnych trudności w utrzymaniu stropu ścian. Następnie przeprowadzono analizę wartości ciśnień dla wyodrębnionych cykli pracy sekcji, odpowiednio je grupując. W wyniku tych prac otrzymano zależności zmierzonych wartości ciśnień w stojakach sekcji od czasu trwania cyklu pracy obudowy. Zauważono, że występujące utrudnienia w utrzymaniu stropu poprzedzone były szybkim wzrostem ciśnienia w stojakach sekcji na tych odcinkach długości ściany, zwłaszcza podczas jej postoju. Przeanalizowano także inne podstawowe parametry wpływające na prawidłowość pracy sekcji obudowy zmechanizowanej. Dane z monitoringu pracy obudowy zmechanizowanej, opracowane zależności i uzyskane wyniki analiz pozwoliły na określenie wniosków, które mogły zoptymalizować jej pracę, parametry techniczne oraz geometryczne sekcji przeznaczonych dla warunków pokładu 385/2. Zoptymalizowana, w oparciu o analizę danych z monitoringu, konstrukcja sekcji obudowy zmechanizowanej, mogła ograniczyć trudności w utrzymaniu stropu wyrobisk ścianowych i co za tym idzie, pozytywnie wpłynąć na zwiększenie bezpieczeństwa pracy i uzyskiwane wyniki ekonomiczne.

Abstract: The proper operational cycle of shield support was presented. The chosen shield support monitoring systems used in Poland and abroad were outlined as well as possibilities and methods of data registration, aims of monitoring and its usage for proper roof strata/support interaction presented. The geological and mining conditions of plov longwall in seam no. 385/2 in LW Bogdanka mine were presented. Also shield support used in this longwall system together with monitoring equipment were described. Software developed in GIG which, among others, allows to identify operational cycle of each shield support was used to analyze monitoring data. Maximal pressure distribution in function of longwall area was made for shield supports. Detailed analysis was conducted for periods of time when poor roof conditions occurred. Next the analysis for given support operational cycles that resulted in formation of adequate groups was conducted. It resulted in the development of relationship between measured under piston pressure and duration of support operational cycle. It was observed that poor roof conditions were preceded by rapid pressure increase on particular longwall sections. Also other basic parameters which have an influence on support bearing capacity were analyzed. Shield support monitoring data, relationships developed and analysis results allowed to determine conclusions for optimization of: operations, construction and technical parameters of shield supports used in seam 385/2. The optimized construction of shield support, on the basis of monitoring data, allows to improve roof conditions which have positive impact on labour safety and economical results.

Słowa kluczowe:

obudowa zmechanizowana, monitoring, podporność

Key words:

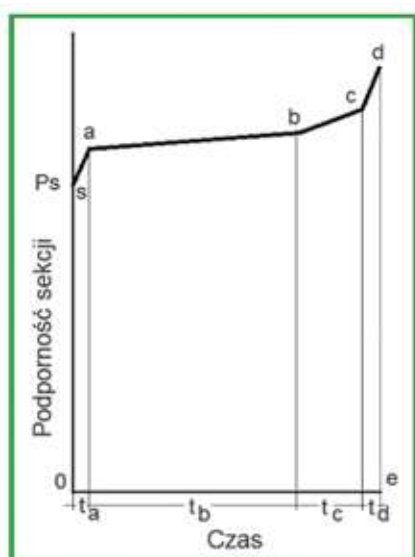
shield support, monitoring, load bearing capacity

*) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

1. Wprowadzenie

Podczas prowadzenia eksploatacji ścianowej, bezpieczeństwo załogi pod ziemią oraz płynność eksploatacji zależne są w dużej mierze od prawidłowego doboru i poprawnej pracy obudowy zmechanizowanej. Coraz częściej jest ona wyposażona w systemy sterowania i monitoringu, wspomagające efektywność prowadzenia procesu produkcyjnego (od kilku lat stosowane również coraz częściej w Polsce). Systemy takie umożliwiają obserwacje, pomiary i rejestracje wielu parametrów pracy całego kompleksu wydobywczego. W przypadku obudów zmechanizowanych, są to najczęściej wartości: ciśnienia w stojakach hydraulicznych sekcji, miary wysunięcia przesuwnika sekcji - pozwalając tym samym określić położenie sekcji na długości wybiegu ściany, czasu dokonania pomiaru, czasu trwania poszczególnych operacji technologicznych, wydarzeń występowania stanów awaryjnych itp.. Znacznie rzadziej możliwe jest *in situ* określenie bieżącej geometrii sekcji i rozmiarów samego wyrobiska takich jak np. aktualna jego wysokość i rozpiętość. Pozyskane informacje mogą być zwykle przesyłane i prezentowane praktycznie bezzwłocznie na powierzchnię kopalni (lub za pośrednictwem sieci komputerowej w dowolne lokalizacje), co pozwala reagować na sytuacje występujące w ścianie wydobywczej. Ponadto, dzięki tym systemom, wydawane mogą być decyzje dotyczące stanu pracy obudowy zmechanizowanej, np. docelowej linii przesuwu sekcji do nowego położenia czy usuwania uszkodzeń w elementach hydraulicznych. Podejmowane są także próby prognozowania niektórych stanów awaryjnych na podstawie śledzenia zmian wartości ciśnień w stojakach sekcji.

Pomiary ciśnienia medium w przestrzeniach podtłokowych stojaków sekcji obudów zmechanizowanych względem osi czasu są podstawowym źródłem informacji określających podporność obudowy. Do dokładnego wyznaczenia podporności całej sekcji niezbędne jest jeszcze określenie aktualnej jej geometrii. Ze względu jednak na dużą komplikację i koszty takich pomiarów podczas prowadzenia wydobywania, są one bardzo rzadko realizowane. Najczęściej pomiary dotyczące tylko monitorowanego ciśnienia w podtłokowych częściach stojaków i ich przebiegi odnosi się do wzorcowego przebiegu ciśnienia przedstawionego na rys. 1.



Rys. 1. Przebieg zmian ciśnienia w stojakach podczas cyklu obudowy (Peng 2006).

Fig. 1. Course of pressure changes in hydraulic props of shield support

Odcinek 0 – s odpowiada okresowi rozparcia sekcji, po czym następuje wzrost podporności na odcinku s – a powodowany wzrostem obciążenia na skutek rabowania sąsiedniej sekcji. Następnie rozpoczyna się dość stabilny i długi okres wzrostu ciśnienia górotworu na odcinku a – b. Odcinek b – c przedstawia wpływ wzrastającego obciążenia, na skutek urabiania calizny węglowej na wysokość sekcji, tym samym wzrostu rozpiętości wyrobiska. Natomiast szybko wzrastający odcinek c – d ukazuje wzrost ciśnienia związany z rabowaniem sąsiedniej sekcji. Odcinek d – e przedstawia gwałtowny spadek ciśnienia podczas rabowania.

W praktyce górniczej szybkości zmian, wartości ciśnień, czasy poszczególnych odcinków mogą podlegać dużym wahanom, zależnym od wielu czynników natury geologicznej, górniczej i technicznej. W celu zapewnienia prawidłowej pracy sekcji obudowy, najbardziej istotnymi czynnikami są:

- szybkie rozpieranie sekcji (do punktu s cyklu) aby uzyskać prawidłową wartość podporności wstępnej, związane jest z ciśnieniem w magistrali zasilającej,
- nieprzekraczanie (lub bardzo rzadkie) wartości ciśnienia nastaw zaworów upustowych (roboczych) stojaków,
- szybkie rabowanie i przesuw sekcji związany z rozpoczęciem nowego cyklu pracy,
- dobry stan techniczny urządzeń.

Przy takich podstawowych warunkach sekcje obudowy zmechanizowanej powinny rozwijać podporność określoną w DTR oraz prawidłowo współpracować z górotworem, zapewniając właściwe utrzymanie stropu.

2. Monitorowanie obudowy zmechanizowanej

Systemy pomiarowe z wizualizacją danych występują najczęściej równolegle z nowoczesnymi elektrohydraulicznymi systemami sterowania obudową zmechanizowaną, jako ich opcjonalna część składowa. Stosowane rozwiązania różnią się funkcjonalnie głównie liczbą mierzonych parametrów technicznych i punktów pomiarowych, częstotliwością wykonywania pomiarów, sposobami zapisu danych, wyrowadzania oraz prezentowania ich na powierzchni, możliwością sygnalizowania wytypowanych sytuacji awaryjnych. Ze względu na zwykle długi czas eksploatacji ściany, a co za tym następuje, ogromną ilość zbieranych i rejestrowanych danych, parametry takich systemów były ściśle związane z postępem w dziedzinie elektroniki i techniki komputerowej. Jakość i dokładność pozyskanych danych rzutuje na możliwości monitoringu obudowy zmechanizowanej oraz kompleksu ścianowego.

Za granicą bogate doświadczenia w monitorowaniu sekcji i analizie takich danych posiada górnictwo amerykańskie i australijskie. (Barczak 2006, Hoyer 2012, Kelly i in. 2012, Moodie, Anderson 2011, Peng 2006, Trueman i in. 2005, Trueman i in. 2009, Trueman i in. 2011), 12). Analizowane są m.in. średnie ważone rozwijanej podporności (tym samym obciążenia obudowy przez górotwór) i ciśnień w stojakach względem czasu (TWAR, TWAP (Kelly i in. 2012, Peng 2006, Trueman i in. 2011)) oraz konwergencja wyrobiska, skutkująca zaciskaniem sekcji. Badane są zależności pomiędzy określonymi przebiegami (dociążania, gradienty zmian określonych zależności) celem dobierania odpowiedniej podporności obudowy w kolejnych ścianach. Rozwijane są systemy komputerowe wizualizacji i sygnalizacji stanów awaryjnych, jak np. LVA, ukierunkowany także na przewidywanie możliwych opadów stropu poprzez określanie współczynnika ryzyka CRI (Cavity Risk Index) (Hoyer 2012, Kelly i in. 2012, Peng 2006, Trueman i in. 2011, Wiklund i in. 2011).

W Polsce doświadczenia związane z nowoczesnym monitoringiem obudowy zmechanizowanej rozpoczęły się m.in. za pomocą systemów wizualizacji rozwijanych przez firmę Tiefenbach-Polska. Pierwsze pomiary i rejestracje prowadzono w KWK „Murcki” (lata 2001 – 2002) i KWK „Rydułtowy” (rok 2003 i 2005) (Liduchowski 2002). Obecnie głównie Grupa Famur i Grupa Kopex oraz różne firmy z nimi związane rozwijają oraz oferują własne systemy monitoringu, stosowane przede wszystkim w obudowach zmechanizowanych przeznaczonych dla kombajnowych ścian zawałowych. W strugowych kompleksach ścianowych stosowany jest monitoring firmy Caterpillar (poprzednio Bucyrus), m.in. w Kopalniach „Zofiówka” i „Bogdanka” (Płonka, Rajwa 2011).

W niniejszym artykule przedstawiono ocenę pracy obudowy zmechanizowanej na podstawie wybranych obliczeń i wykresów, wykorzystując udostępnione zapisy danych zebranych podczas wybierania ścian strugowych 7/VII/385 w polu Stefanów oraz 2/VI/385 w polu Nadrybie w pokładzie 385/2 w latach 2011 – 2013 w LW „Bogdanka” (Płonka i in. 2013/14, Płonka i in. 2014).

3. Charakterystyka obudowy zmechanizowanej i systemu pomiarowego stosowanych w LW „Bogdanka”

Strugowe kompleksy ścianowe pracujące w LW „Bogdanka” wyposażone są w obudowy zmechanizowane liniowe i skrajne Bucyrus/Caterpillar (kilku typów), które są skonstruowane dla zakresów wysokości konstrukcyjnej generalnie od 0,95 m do 2,3 m, z podziałką 1,75 m dla sekcji liniowych lub 1,95 m skrajnych. Sekcje wyposażone są w stojaki hydrauliczne o średnicy pierwszego stopnia \varnothing 320 mm.

Podczas pracy kompleksu *in situ* mierzonych jest wiele parametrów kontrolnych stanu poszczególnych urządzeń, w tym obudowy zmechanizowanej. System monitorowania i pomiaru wspomagany jest kolejnymi modernizowanymi wersjami oprogramowania VShield.

Mierzone są m.in. ciśnienia w przestrzeniach podłokowych stojaków wszystkich sekcji obudowy zmechanizowanej z dokładnością do 1 bar, dostępne są miary położenia wzdłuż wybiegu ściany: poszczególnych sekcji obudowy, przenośnika, tzw. linii węgla, linii cięcia struga, a na długości ściany położenie struga ślizgowego według numerów sekcji obudowy, itp. Wartości pomiarów gromadzone są w bazie danych na nośniku pamięci, w plikach tworzonych osobno dla czasu maksymalnie jednego dnia. Dane pomiarowe mogą być uzyskiwane co 1 sekundę.

System umożliwia więc obserwację cykli pracy każdej z sekcji obudowy (rys. 1) poprzez zmiany ciśnienia w przestrzeniach podłokowych stojaków względem czasu, włącznie z lokalizacją sekcji na wybiegu ściany, natomiast podporność obudowy, ze względu na brak pomiaru jej geometrii musi być wyliczana z przybliżeniem wynikającym z określonej przez służby mierznicze miąższości pokładu oraz przy założeniu równoległości stropnicy i spagnicy, czyli prawidłowości kinematyki sekcji.

4. Warunki geologiczno-górnice pokładu 385/2

4.1. Ściana 7/VII/385 w polu Stefanów

Ściana 7/VII/385 prowadzona była od października 2011 do marca 2013 z zawałem stropu, z wysokością od około 1,5 m do 1,8 m. Długość ściany wynosiła 305 m, a jej całkowity wybieg osiągnął około 5 km. Zarejestrowane dane nie obejmują całego wybiegu ściany i dokumentują 324 dni pomiarowych.

Pokład 385/2 w tym rejonie zalega na głębokości od około -710 m do około -780 m, z nachyleniem od 0° do 2° .

W stropie pokładu 385/2 w tym rejonie występuje ilowiec szary średniozwięzły oraz mułowiec szary zwięzły i średniozwięzły. Podobnie, spąg zbudowany jest również z ilowca szarego średniozwięzłego oraz mułowca szarego zwięzłego i średniozwięzłego. Na wybiegu ściany wytrzymałości stropu zmieniały się w zakresie około $19 \div 47$ MPa dla pakietu warstw $0 \div 6$ m. Wytrzymałości spągu zmieniały się w zakresie około $6 \div 38$ MPa dla pakietu warstw $0 \div 3$ m.

Strugowa ściana 7/VII/385 wyposażona została w sekcje obudowy Bucyrus: 950/20002 \times 3619-1750 (liniowe) i 1480/23002 \times 3619-1950 (skrajne). Łącznie 173 sekcje, w tym 8 skrajnych.

4.2. Ściana 2/VI/385 w polu Nadrybie

Ściana 2/VI/385 prowadzona była od października 2012 do czerwca 2013, z zawałem stropu, z wysokością od około 1,8 m do 2,2 m. Długość ściany wynosiła 250 m, a jej całkowity wybieg osiągnął około 1830 m. Zarejestrowane dane również nie są kompletne i obejmują 209 dni pomiarowych w czasie jej biegu.

Pokład 385/2 w tym rejonie zalega na głębokości od około -710 m do około -740 m, z nachyleniem od 0° do 3° .

W stropie pokładu 385/2 w rejonie ściany 2/VI/385 występuje mułowiec, ilowiec szary średniozwięzły oraz piaskowiec, zaś spąg zbudowany jest z ilowca szarego średniozwięzłego oraz mułowca szarego zwięzłego. Na wybiegu ściany wytrzymałości stropu zmieniały się w zakresie około $25 \div 50$ MPa dla pakietu warstw $0 \div 6$ m. Wytrzymałości spągu zmieniały się w zakresie około $12 \div 31$ MPa dla pakietu warstw $0 \div 3$ m.

Strugowa ściana 2/VI/385 wyposażona została w sekcje obudowy Bucyrus: 950/20002 \times 3619-1750 (liniowe) i 1480/23002 \times 3619-1950 (skrajne). Łącznie 142 sekcje, w tym 8 skrajnych.

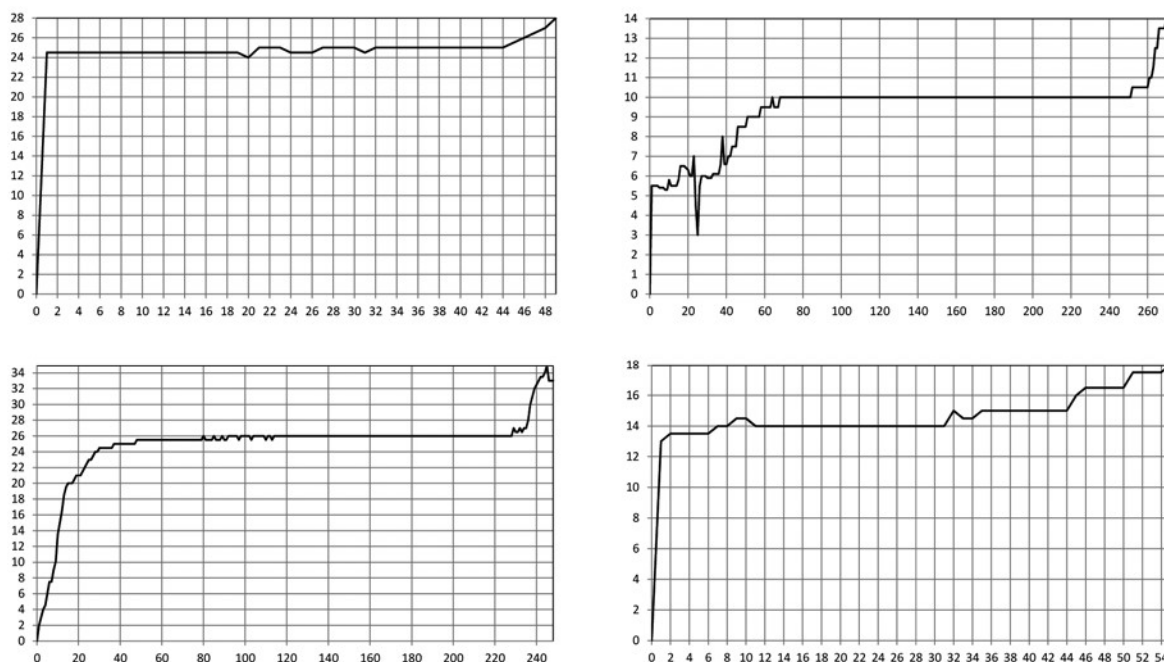
5. Obserwacje wartości ciśnień w stojakach obudowy

W ścianach pokładu 385/2, podczas bieżących obserwacji, serwis stwierdzał stosunkowo niewysokie ciśnienia w przestrzeniach podłokowych stojaków podczas pracy kompleksu. W tym czasie występowały jednak okresowo lokalne problemy związane z prawidłowym utrzymaniem stropu. Zauważono, że występujące utrudnienia w utrzymaniu stropu poprzedzane były szybkim wzrostem ciśnienia w stojakach sekcji na tych odcinkach długości ściany, zwłaszcza podczas jej postępu. Potwierdzenie tego mogło nastąpić w oparciu o analizę danych z monitoringu parametrów pracy. Wyniki takich analiz mogłyby posłużyć do optymalizacji konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej lub sposobu jej prowadzenia, w celu ograniczenia trudności w utrzymaniu stropu wyrobisk ścianowych i co za tym idzie pozytywnie wpłynąć na zwiększenie bezpieczeństwa pracy i uzyskiwane wyniki ekonomiczne.

6. Sposoby opracowania danych pomiarowych

Zarejestrowane wartości ciśnień z przestrzeni podłokowych stojaków opracowano, wykorzystując dwa sposoby obliczeń.

W pierwszym odniesiono je do obszaru pól analizowanych ścian. Określono tym samym maksymalne obciążenia ze strony górotworu, panujące w polu ścian podczas eksploatacji, jakim poddana została obudowa zmechanizowana.



Rys. 2. Przykładowe kształty cyklu pracy sekcji, zmienność ciśnienia względem czasu
Fig. 2. Exemplary operational cycles of shield support, variation of pressure in time

Umożliwiło to ocenę jej parametrów technicznych (podporności) w kontekście jej doboru do odpowiednich warunków geologiczno-górnictwa wyrobiska ścianowego.

W drugim sposobie dokonano identyfikacji kształtu cyklu pracy wszystkich sekcji obudowy zmechanizowanej, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1. Pozwoliło to wyznaczyć takie parametry pracy sekcji jak: szybkość rozpierania, osiągnięte wartości podporności wstępnej, przyrosty podporności podczas trwania cyklu pracy itp.. W rzeczywistości bowiem, podczas pracy kompletu obudowy zmechanizowanej obserwuje się duże zróżnicowania kształtów przebiegów ciśnienia w cyklu pracy sekcji, co przedstawiono poglądowo na rys. 2.

6.1. Rozkład ciśnień maksymalnych w stojakach sekcji w odniesieniu do powierzchni pola ścian

W tym celu przyporządkowano wartości maksymów ciśnienia w stojakach do miejsc ich występowania, wykorzystując mapy pokładu 385/2 z rejonu ścian 7/VII/385 i 2/VI/385. Do wykonania wykresów wykorzystano autorskie oprogramowanie, opracowane i użytkowane w Zakładzie Technologii Eksploatacji i Obudów Górniczych GIG, uwzględniające m.in. zapis czasu pomiaru, ustawienie poszczególnych sekcji zabudowanych w ścianie i ich postęp. W przypadku ściany 7/VII/385 zastosowano podział na część 1 i 2 wybiegu, ze względu na występujące braki danych. Jednostkowym prostokątom, wyznaczonym w polu ścian, przyporządkowano maksymalne zarejestrowane wartości ciśnienia w stojakach sekcji. Różne poziomy wartości ciśnienia na mapach oznaczono kolorami, zaś pojedynczy barwny punkt swoim rozmiarem odpowiada szerokości sekcji na długości wybiegu 1 m. Uzyskane tym sposobem wykresy przedstawiono na rys. 3, 4 i 5.

Na ich podstawie sporządzono histogramy (rozkłady liczebności), ukazujące procentowe udziały powierzchni pola ściany, na jakim wystąpiły określone ciśnienia i zamiesz-

czono je na rys. 6. Porównać można na nim dane dotyczące odcinków wybiegu ścian: 7/VII/385 cz. 1, 7/VII/385 cz. 2 i 2/VI/385.

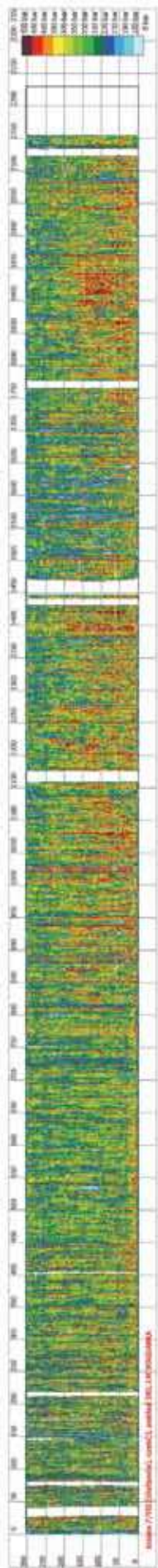
Rozkłady zarejestrowanych wartości ciśnień w stojakach obudowy wykazały znaczną ilość wysokich ciśnień, o wartościach zbliżonych do nastaw zaworów roboczych ustawionych na 45 MPa (450 bar).

Ponadto, obserwując zmiany tego ciśnienia, zauważono liczne i stosunkowo szybkie wzrosty ciśnienia w podłokowych częściach stojaków, aż do wystąpienia charakterystycznych „piłowych” kształtów ich przebiegów, na poziomie wartości zadziałania zaworów roboczych (450 bar \pm 5%). Sytuacje takie występowały już podczas stosunkowo niedługich postojów ścian, świadcząc o zadziałaniu zaworów roboczych na skutek rosnącego obciążenia górotworu.

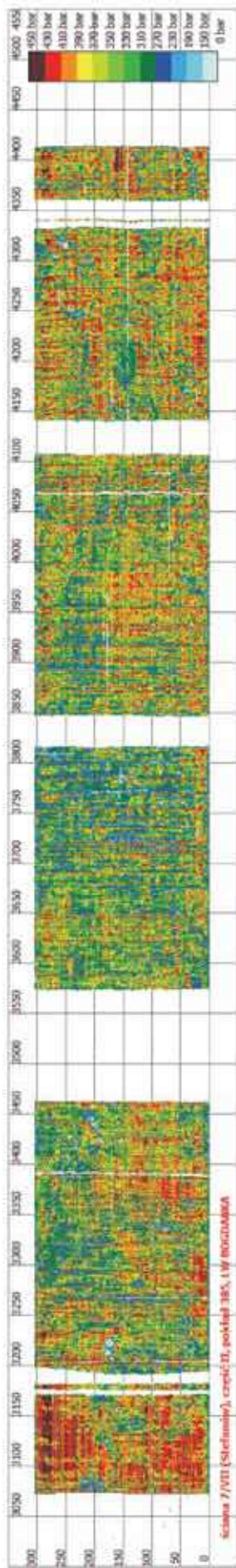
6.2. Ciśnienia w zidentyfikowanych cyklach pracy sekcji obudowy zmechanizowanej

Posługując się autorskim programem komputerowym określono parametry kształtu cyklu pracy sekcji obudowy zmechanizowanej poprzez identyfikację punktów: „a”, „b”, „c” i „d” jak na rys. 1, przyporządkowując im określone wartości ciśnienia i czasu. Ze względu na przyjęty w obliczeniach okres 1 minuty pomiędzy danymi (ze względu na wielkość bazy danych i związany z tym czas wykonywania konwersji danych i obliczeń), pominięto określanie parametrów punktu stricte „s” (rozparcie sekcji) na odcinku „0-s-a”, identyfikując punkt „a” jako punkt, w którym krzywizna zmian ciśnienia bezpośrednio po rozparciu sekcji była największa. Uzasadnieniem takiego podejścia jest także stosowany algorytm przesuwania obudowy, który nie wymagał przesuwu kolejnych sąsiednich sekcji.

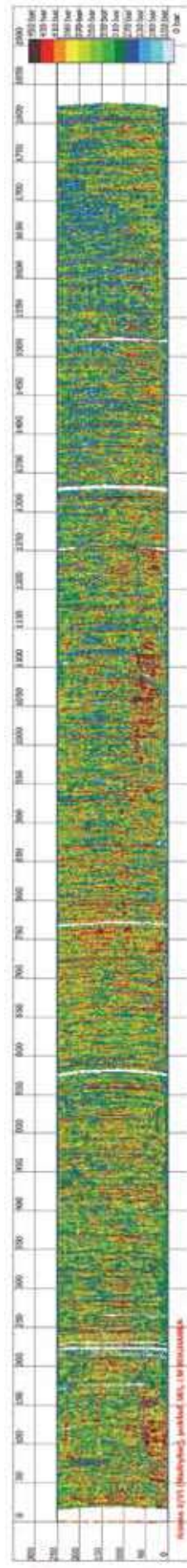
Wykonane obliczenia i zastosowany komputerowy algorytm identyfikacji, w oparciu o posiadaną bazę pomiarową, pozwoliły na wyznaczenie sumarycznych ilości cykli pracy sekcji dla poszczególnych ścian (tab. 1).



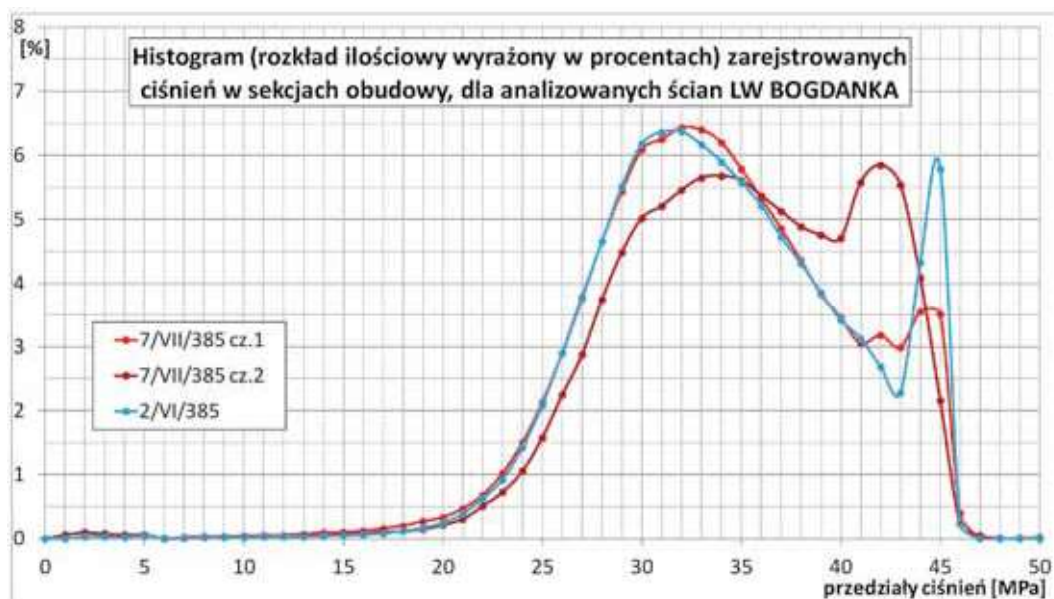
Rys. 3. Wartości maksymalne ciśnień na 1 części wybiegu ściany 7/VI/385. Źródło: oprogramowanie własne GIG
 Fig. 3. Maximal values of pressure in 1st section of longwall 7/VI/385 run. Source: software developed by GIG



Rys. 4. Wartości maksymalne ciśnień na 2 części wybiegu ściany 7/VI/385. Źródło: oprogramowanie własne GIG
 Fig. 4. Maximal values of pressure in 2nd section of longwall 7/VI/385 run. Source: software developed by GIG



Rys. 5. Wartości maksymalne ciśnień na wybiegu ściany 2/VI/385. Źródło: oprogramowanie własne GIG
 Fig. 5. Maximal values of pressure on run of the longwall 2/VI/385. Source: software developed by GIG



Rys. 6. Histogram rozkładu maksymalnych wartości ciśnień na jednostkowych prostokątach powierzchni analizowanych ścian

Fig. 6. Histogram of maximal pressure values distribution on rectangle shaped, unit size areas of the analyzed longwalls

Dalszej analizie poddano jednak wyselekcjonowaną część danych, powstałą po odrzuceniu m.in. tych z prawdopodobnymi błędami pomiarowymi. Zmniejszoną ilość cykli i procent odrzuconych przedstawia tab. 2.

Dla zbiorów cykli po selekcji, średnie wartości ciśnienia maksymalnego (z punktu „d”) wyliczono kolejno dla 10-minutowych odcinków czasu ich trwania (tzn. do 10 min, od 10 do 20 min itd.). Dla tych samych odcinków czasu zliczono ilość wystąpienia wartości ciśnienia, które przewyższało próg zadziałania zaworów roboczych pomniejszony o możliwą 5-procentową niedokładność, a więc mogło spowodować rabowanie sekcji obudowy, i przedstawiono je w stosunku procentowym do wszystkich cykli z danego przedziału czasu. Wykresy przedstawiono na rys. 7. Pomocniczymi liniami przerywanymi przedstawiono wynik obliczeń regresji segmentowej (odcinkami liniowymi) dla tych zależności, określony przy pomocy pakietu Statistica (średnia z wariancji wyjaśnionych przez modele 0,90).

Sporządzono także histogram przedstawiający procentowy podział zbioru cykli obudowy ze względu na czas ich trwania, zamieszczony na rys. 8.

7. Analiza uzyskanych zależności

7.1. Rozkład ciśnień maksymalnych w stojakach sekcji w odniesieniu do powierzchni pół ścian

Przedstawione w niniejszej ocenie odniesienie danych do powierzchni pola eksploatacyjnego (jednostkowych prostokątów wyznaczonych jak w pkt. 6.1), a tym samym uwzględnienie modelu zjawiska obciążenia obudowy ze strony górotworu, pozwala na przedstawienie kształtowania się rozkładów ciśnienia w stojakach sekcji, i tym samym, rozwijanej podpórności sekcji.

Opierając się o przedstawione w pracy wykresy i obliczenia, a także poprzez selekcję i korekcję danych pomiarowych (rys. 3 – 6), określono:

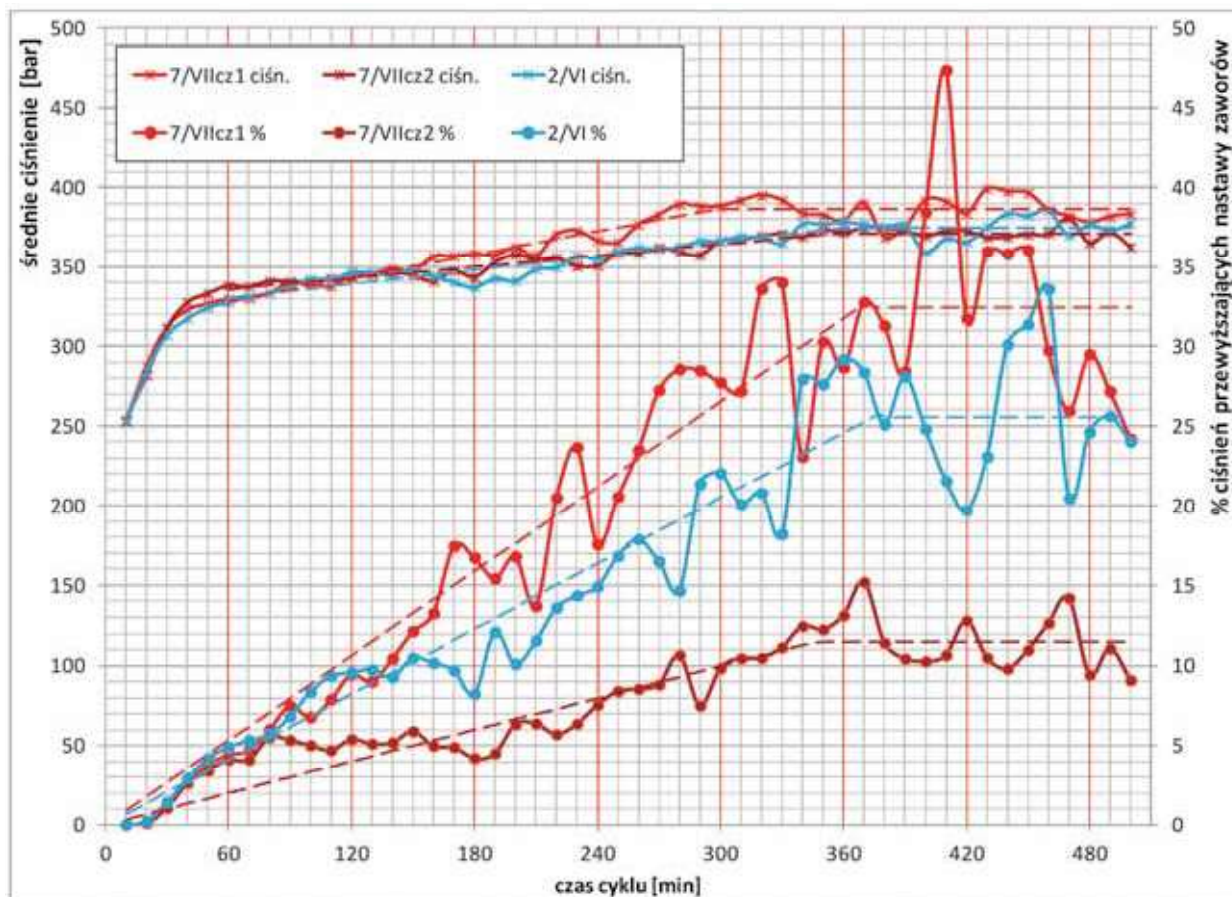
- procentowy udział powierzchni pola ściany, na którym sekcje obudowy osiągały ciśnienia powyżej 40 MPa,
- procentowy udział powierzchni pola ściany, na którym sekcje obudowy osiągały ciśnienia powyżej 43 MPa, a więc w zasadzie blisko granicy (i powyżej) ciśnienia roboczego – należy pamiętać przy tym także o fakcie

Tabela 1. Zidentyfikowana pełna ilość cykli pracy sekcji obudów w analizowanych ścianach
Table 1. Identified number of full operation cycles of shield supports

ŚCIANA	7/VII/385 cz.1	7/VII/385 cz.2	2/VI/385
ilość zidentyfikowanych cykli	904641	612932	629415
średnia ilość cykli na 1 sekcję	5229	3543	4433
długość wybiegu ściany	2155 m	1336 m	1802 m

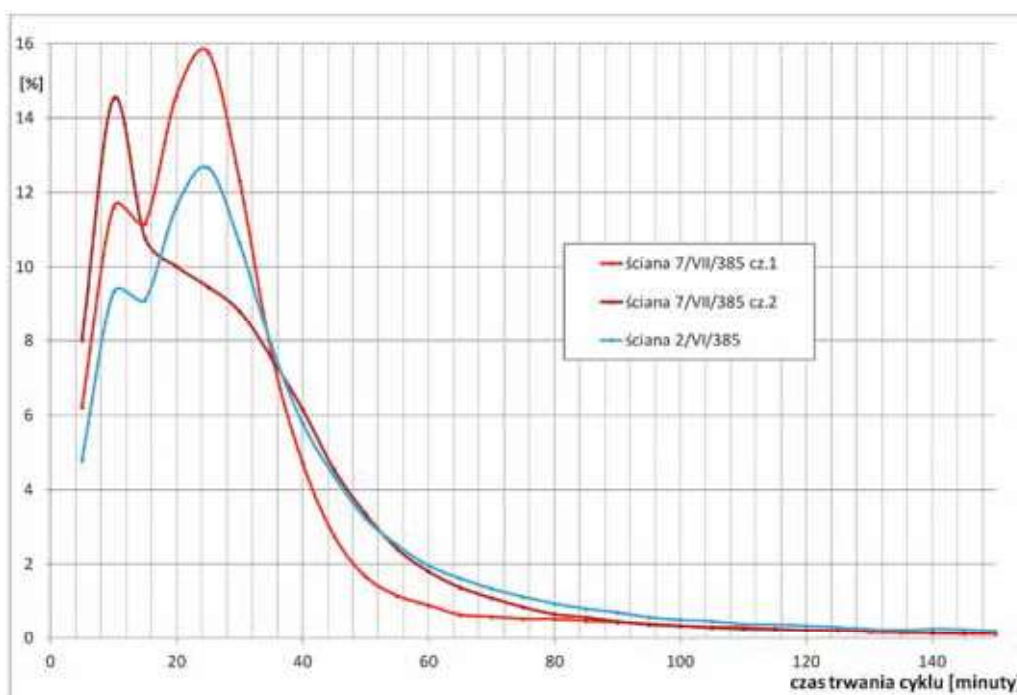
Tabela 2. Wyselekcjonowana ilość cykli pracy sekcji obudów w analizowanych ścianach
Table 2. Selected number of full operation cycles of shield supports

ŚCIANA	7/VII/385 cz.1	7/VII/385 cz.2	2/VI/385
ilość cykli po selekcji	869704	568520	602411
procent odrzuconych cykli	3,9%	7,3%	4,3%



Rys. 7. Histogramy rozkładów maksymalnych wartości ciśnień i przekroczenia nastaw zaworów dla czasów cyklu obudowy w analizowanych ścianach

Fig. 7. Histograms of maximal pressure values distribution and yield pressure overruns for operational cycles duration of the analyzed longwalls



Rys. 8. Histogramy rozkładów czasu trwania cykli obudowy w analizowanych ścianach

Fig. 8. Histograms of operational cycles duration of the analyzed longwalls

pewnej nierównomierności rozparcia stojaków w obrębie jednej sekcji, co może powodować jeszcze częstsze stany zadziałania zaworów,

- procentowy udział powierzchni pola ściany, na którym w stojakach zarejestrowano ciśnienia maksymalne poniżej 20 MPa, a więc sekcje nie osiągały nawet wartości zbliżonych do podporności wstępnej – tym samym uznano, że nie pracowały prawidłowo.

Wykonane obliczenia pozwoliły na przedstawienie w tab. 3 procentowych udziałów powierzchni pola ścian, na których odnotowano ciśnienia w określonych przedziałach wartości:

Tabela 3. Powierzchnia pól analizowanych ścian, określona w procentach, na której ciśnienia osiągały wytypowane wartości

Table 3. Percentage area of analyzed longwall panels on which the pressure reached selected values

ŚCIANA	7/VII/385 cz.1	7/VII/385 cz.2	2/VI/385
≥ 40 MPa	20%	28%	22%
≥ 43 MPa	10,5%	12%	13%
< 20 MPa	1,5%	1%	1%

Podsumowując, można stwierdzić, że w przypadku omawianych ścian, na około 10,5% ÷ 13% powierzchni ich pól sekcje obudowy zmechanizowanej nie dysponowały praktycznie żadną rezerwą podporności (przyjęto możliwość wystąpienia około 5% błędu określania wartości ciśnienia), natomiast na około 20% ÷ 28% powierzchni ich pól sekcje obudowy zmechanizowanej wykorzystywały praktycznie górny zakres projektowanej podporności. W niewielkim procencie przypadków na pewno nie pracowały zgodnie z wymaganiami DTR.

Wyniki obliczeń wskazały wykorzystanie parametrów podpornościowych sekcji obudowy zmechanizowanej w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

7.2. Ciśnienia w zidentyfikowanych cyklach pracy sekcji obudowy zmechanizowanej

Przedstawione na rys. 7 wykresy pokazują, że wraz z wydłużaniem się czasu trwania cyklu obudowy (który zwy-

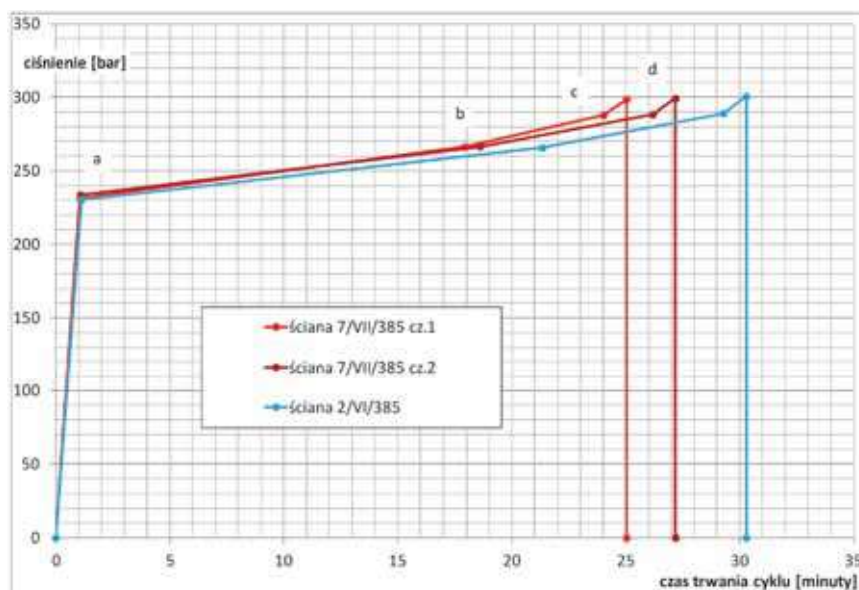
kle odpowiada mniejszej prędkości postępu), obserwować można zwiększanie się średniej bieżącej wartości najwyższych ciśnień, aż do ciśnienia, przy którym praktycznie ulega ono stabilizacji. Podobna zależność, zwiększania się (w tych okresach czasu) udziału procentowego wartości ciśnień, przy których może nastąpić zadziałanie zaworów roboczych i rabowanie obudowy, a więc stan, przy którym spodziewać się można wystąpienia utrudnień w utrzymaniu stropu. Duży udział procentowy sekcji rabujących się jest zapewne też powodem osiągania takiej wartości średniej ciśnienia, na odcinku stabilizacji, która jest wyraźnie niższa od wartości nastawy zaworów roboczych.

Czas stabilizacji średnich bieżących przedstawionych zależności jest prawdopodobnie czasem, po którym cała obudowa zmechanizowana nie dysponuje już rezerwą podporności (duży udział procentowy sekcji rabujących się w takich warunkach) oraz możliwością jej wzrostu, natomiast obciążenie górotworu może wzrastać nadal i intensyfikować utrudnienia stropowe w wyrobisku.

W przypadku omawianych ścian czas ten można oszacować na około 5 – 6 godzin.

Analizując kolejny rys. 8, przyjąć można, że zdecydowana większość cykli zarejestrowanych podczas biegu analizowanych ścian przebiegała w czasie do około 40 – 60 min. Ta grupa cykli pracy przedstawia poprawny stan pracy kompleksu strugowego, kiedy eksploatacja przebiega normalnie i bez postojów, tj. przy określonej prędkości postępu. Dla takich warunków zauważyć można właściwe dla poprawnej pracy poziomy ciśnienia roboczego i niewielkie udziały występowania ciśnień maksymalnych (punkt „d”), przy których wystąpić mogło rabowanie sekcji skutkiem zadziałania zaworów roboczych.

Zakładając graniczny czas cyklu obudowy, dla którego można uznać, że nie odpowiada on jeszcze stanowi postoju ściany, można obliczyć jego uśrednione parametry dla każdej ściany. Przykładowo, przyjmując pełniejszą reprezentację danych i zakładając graniczny czas cyklu na 120 min, parametry uśrednionych cykli dla omawianych ścian przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Przebiegi uśrednionych cykli sekcji obudowy dla analizowanych ścian
Fig. 9. The courses of average shield support cycles of the analyzed longwalls

8. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz można sformułować następujące wnioski:

Podczas regularnego biegu omawianych ścian 7/VII/385 i 2/VI/385, w warunkach LW „Bogdanka”, stosowana obudowa zmechanizowana charakteryzowała się odpowiednią podpornością, była dobrze dobrana pod tym względem do warunków eksploatacji w pokładzie 385/2.

Zgromadzone dane pomiarowe z okresu eksploatacji, włącznie z postojami kompleksu ścianowego, wykazały, że w warunkach prowadzenia ścian 7/VII i 2/VI, na około 10,5% – 13% ich powierzchni sekcje obudowy zmechanizowanej pracowały z maksymalną podpornością.

Podczas postojów ścian o czasie rzędu 5 – 6 godzin notowano liczne szybkie wzrosty obciążenia górotworu, które mogły powodować utrudnienia w utrzymaniu stropu.

Co najmniej 1,5% sekcji pracowało z wartościami ciśnienia mniejszymi od 20 MPa, a więc wartościami znacznie niższymi od ciśnienia zasilania.

Występowanie pewnych lokalnych trudności w utrzymaniu stropu mogło być związane z występowaniem grubszych warstw piaskowca w stropie pokładu, powodującego zawisanie warstw skalnych za linią obudowy i występowanie zjawiska ciśnień okresowych.

Monitoring obudowy zmechanizowanej oraz analiza gromadzonych danych, dostarczyć mogą wielu informacji pozwalających na poprawę zarówno efektywności procesu wydobywczego, jak i bezpieczeństwa załogi.

Autorzy składają podziękowania LW „Bogdanka” SA oraz Caterpillar Global Mining Polska Sp. z o.o. za współpracę przy badaniach oraz umożliwienie dostępu do danych i oprogramowania systemowego.

Literatura

- BARCZAK T. 2006 - A retrospective assessment of longwall roof support with a focus on challenging accepted roof support concepts and design premises. 25th Int. Conf on Ground Control in Mining, Morgantown, WV, USA, pp. 232-244.
- HOYER D. 2012 - Early warning of longwall roof cavities using LVA software. 12th Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 69-77.

- KELLY M., B. KIZIL M., CANBULATI I. 2012 - Analysing the effectiveness of the 1750 tonne shields at Moranbah North Mine. Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 30-41.
- LIDUCHOWSKI L. 2002 - Monitoring stanu obudowy zmechanizowanej przy zastosowaniu sterowania elektrohydraulicznego firmy Tiefenbach. Prace Naukowe GIG, seria Konferencje nr 40. Katowice, s. 123-128.
- MOODIE A., ANDERSON J. 2011 - Geotechnical Considerations for Longwall Top Coal Caving at Austar Coal Mine. Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 28-39.
- PENG S.S. 2006 - Longwall Mining. Syd S. Peng publisher, pp. 183-190.
- PŁONKA M., RAJWA S. 2011 - Assessment of Powered Support Loadings in Plow and Shearer Longwalls in Regard to the Pressure Measurements in Props. International Mining Forum 2011 – Bogdanka, Poland. A Balkema Book. CRC Press, © Taylor & Francis Group, London, UK, pp. 221-232.
- PŁONKA M. i in. 2013/2014 - Określenie optymalnych parametrów podpornościowych obudowy zmechanizowanej kompleksów strugowych dla warunków geologiczno-górnictwowych LW „Bogdanka” SA na podstawie dotychczasowych doświadczeń Kopalni w stosowaniu techniki strugowej. Dokumentacja pracy badawczej GIG nr: 581 32883 – 152, dla Caterpillar Global Mining Polska Spółka z o. o., (niepublikowana).
- PŁONKA M. i in. 2014 - Optymalizacja pracy obudów zmechanizowanych w ścianach strugowych i kombajnowych w aspekcie ograniczenia opadania stropu w warunkach górnictwo-geologicznych Kopalni LW „Bogdanka” SA. Zadanie 1: Optymalizacja pracy sekcji obudów zmechanizowanych w ścianach strugowych dla poprawy jakości urobku. Dokumentacja pracy badawczej GIG nr: 581 08394 – 152, (niepublikowana).
- TRUEMAN R., THOMAS R., HOYER D. 2011 - Understanding the Causes of Roof Control Problems on A Longwall Face from Shield Monitoring Data - a Case Study, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 40-47.
- TRUEMAN R., LYMAN G., COCKER A. 2009 - Longwall roof control through a fundamental understanding of shield-strata interaction. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 46 Elsevier, pp. 371-380.
- TRUEMAN R., LYMAN G., CALLAN M., ROBERTSON B. 2005 - Assessing longwall support-roof interaction from shield leg pressure data. Mining Technology (Trans. Inst. Mining and Metallurgy A) Vol. 114, pp. 176184.
- WIKLUND B., KIZIL M. S., CANBULATI I. 2011 - Development of A Cavity Prediction Model for Longwall Mining, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 48-59.

Artykuł wpłynął do redakcji – styczeń 2017
Artykuł akceptowano do druku 5.03.2017