

Stanisław SZWEDA
Instytut Mechanizacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej

ANALIZA OBCIĄŻEŃ STATYCZNYCH OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ NA PODSTAWIE POMIARÓW DOŁOWYCH

Streszczenie. Korzystając z wyników pomiarów dołowych obciążeń statycznych i dynamicznych przenoszonych przez stojaki hydrauliczne określono parametry charakteryzujące obciążenia statyczne obudowy występujące w miejscu przeprowadzenia pomiarów. Wyznaczono średnie wartości ciśnienia wstępnego p_w i maksymalnego ciśnienia w stojakach p_{max} w trakcie cyklu obudowy. Na podstawie analizy przebiegu prostej regresji $p_{max} = f(t)$ oszacowano obciążenia obudowy w miejscu przeprowadzania pomiarów - O_{ob} . Jego wartość - 232 kNm^{-2} , odpowiada średniemu ciśnieniu w podporach hydraulicznych wynoszącemu $p_0 = 13,5 \text{ MPa}$.

AN ANALYSIS OF STATIC LOADS OF A SHIELD SUPPORT ON THE BASIS OF THE RESULTS OF UNDERGROUND MONITORING

Summary. Parameters characterizing the static load of a shield support occurring in the place of measurements were evaluated using results of underground monitoring of the static and dynamic loads transmitted by hydraulic legs.

The mean values of the setting pressure p_w and the maximum pressure in legs - p_{max} occurring in a shield cycle were determined.

On the basis of an analysis of the regression line $p_{\max} = f(t)$, the shield load - O_{ob} in the place of measurements was estimated. Its value of 232 kNm^{-2} corresponds with the pressure in hydraulic legs of $13,5 \text{ MPa}$.

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА МЕХАНИЗИРОВАННУЮ КРЕПЬ, НА ОСНОВЕ ПОДЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Резюме. Используя результаты статических и динамических нагрузок стоек механизированной крепи, проведенных в горной выработке, определены параметры, характеризующие статические нагрузки, действующие на крепь в месте ведения измерений.

Определены средние величины установочного давления p_w и максимального давления в стойках - p_{\max} во время рабочего цикла крепи. На основании анализа линейной регрессии $p_{\max} = f(t)$ проведено оценку нагрузки крепи - O_{ob} в месте ведения измерений. Ее величина - 232 кН м^{-2} соответствует среднему давлению в гидравлических стойках - $p_o = 13,5 \text{ МПа}$.

1. WSTĘP

W ramach projektu badawczego nr 9 9031 92 03 realizowanego przez CMG Komag i Instytut Mechanizacji Górnictwa wykonywane są pomiary obciążeń dynamicznych działających na obudowę zmechanizowaną rozpartą w wyrobisku. Pomiary te prowadzone są systemem ciągłym i dlatego ich wyniki pozwalają również na przeanalizowanie współpracy obudowy zmechanizowanej z górotworem przy obciążeniach statycznych.

Poniżej przedstawiono przebieg pomiarów wykonywanych w KWK "Zabrze-Bielszowice" oraz analizę obciążeń statycznych badanej obudowy.

2. POMIARY DOŁOWE

Celem pomiarów jest równoczesne wyznaczenie czasowych przebiegów wypadkowej siły przenoszonej przez podpory hydrauliczne oraz składowej pionowej przyspieszenia wybranego punktu stropnicy. Uproszczoną metodą wyznaczania obciążenia dynamicznego obudowy poprzez pomiar siły w stojakach oraz aparaturę pomiarową zastosowaną w badaniach opisano szczegółowo w [3], natomiast wyniki wzorcowania aparatury pomiarowej w warunkach laboratoryjnych przedstawiono w pracy [2].

Pomiary wykonywano w KWK "Zabrze-Bielszowice" w okresie od 07.09.1992 r, do 28.09.1992 r. Aparaturę pomiarową zamontowano na sekcji nr 193 w ścianie N791 w pokładzie 502 na głębokości 780 m.

W bezpośrednim stropie pokładu zalega warstwa łupku ilastego o grubości do 1,1 m, powyżej której zalega kompleks piaskowca o grubości ok. 14,2 m, a następnie warstwa łupku ilastego tworząca spąg pokładu 501. Odległość pomiędzy pokładami 501 i 502 wynosi około 18 m. Spąg pokładu 502 tworzy warstwa łupku ilastego lub piaszczystego o zmiennej grubości (do 0,4 m).

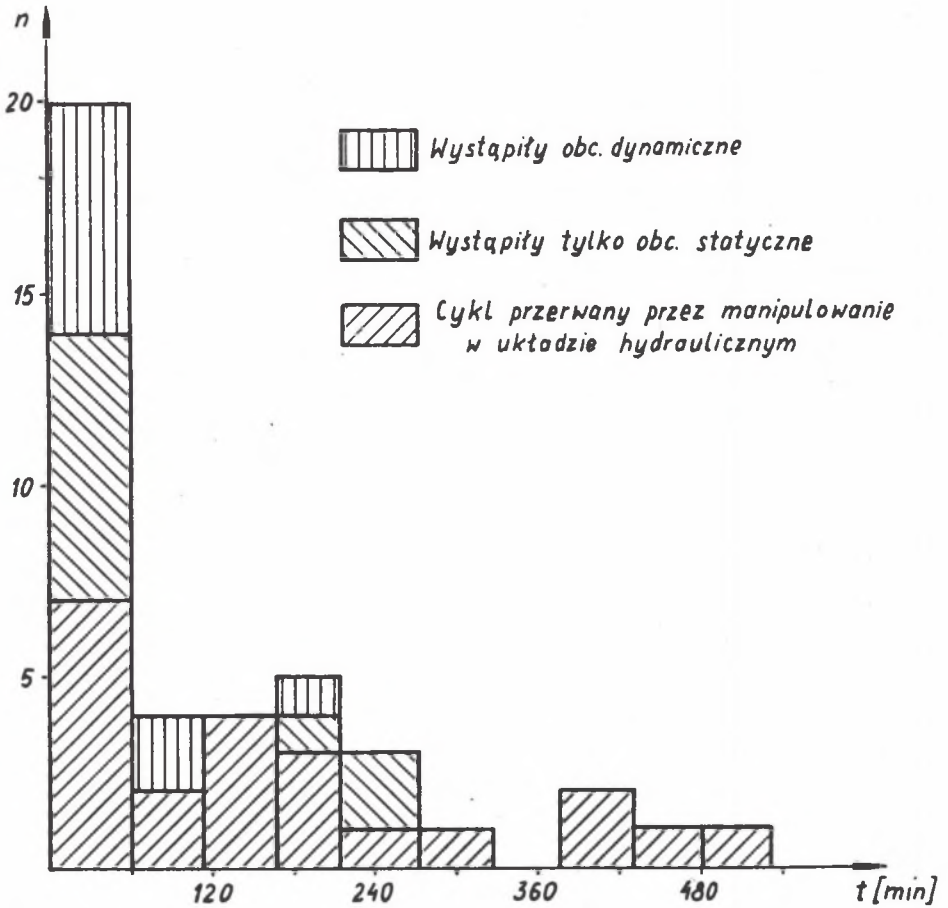
Ściana N791 prowadzona jest systemem podłużnym z zawalem stropu. Długość ściany wynosi 300 m. Wysokość wyrobiska zmieniała się w zakresie od 2,30 m do 2,65 m. Strop wyrobiska zabezpieczała obudowa FAZOS 15/31-Oz wyposażona w podpory hydrauliczne o średnicy 200 mm. Podczas pomiarów średnia wysokość wyrobiska wyniosła około 2,4 m.

Pomiary wykonywane systemem ciągłym objęły łącznie 41 cykli obciążenia. Czas trwania cyklu pracy obudowy (licząc od momentu rozparcia aż do przekładki) był bardzo zróżnicowany i wahał się w przedziale od 6 minut do 535 minut. Na rys. 2.1 pokazano przedziałowy wykres liczby cykli w funkcji czasu ich trwania.

Na rys. 2.1 zaznaczono również podział cykli pracy obudowy ze względu na kryterium przyczyny zmian jej obciążenia.

Wyróżniono trzy grupy:

- cykle, podczas których następował przyrost obciążenia obudowy spowodowany quasi-statycznym naciskiem górotworu.
- cykle, podczas których oprócz quasi-statycznego nacisku występowały zmiany obciążenia obudowy spowodowane manipulowaniem układem hydraulicznym obudowy (dodatkowe rozpieranie podpory hydraulicznej, wymiana bloku za - worowego na jednym ze stojaków itp.)
- cykle, podczas których oprócz obciążeń quasi-statycznych wystąpił dynamiczne zmiany obciążenia.



Rys.2.1. Podział cykli pracy badanej obudowy zmechanizowanej
 Fig.2.1. The division of shield cycles for the shield support measured

Jakkolwiek z punktu widzenia celu badań najistotniejsze znaczenie mają te cykle, podczas których wystąpiły dynamiczne zmiany obciążenia obudowy, to na podstawie tych pomiarów rejestrowanych systemem ciągłym można również prześledzić quasi-statyczne obciążenia sekcji. Analizę parametrów charakteryzujących te obciążenia przedstawiono poniżej.

3. ANALIZA OBCIĄŻEŃ STATYCZNYCH OBUDOWY W ŚCIANIE

3.1. Ciśnienia wstępne

Przeanalizowano quasi-statyczne przebiegi zmian obciążenia obudowy w 37 zarejestrowanych cyklach - liczonych od chwili rozparcia obudowy w nowym położeniu do zrabowania sekcji. Za zakończenie cyklu statycznej pracy obudowy przyjmowano również moment występowania obciążenia dynamicznego lub moment zmiany siły w stojakach wywołany manipulowaniem rozdzielaczem.

Ciśnienie wstępne w przeanalizowanych cyklach zmieniało się w przedziale od

$$p_{w.\min} = 5,17\text{MPa} \quad \text{do} \quad p_{w.\max} = 25,1\text{MPa}$$

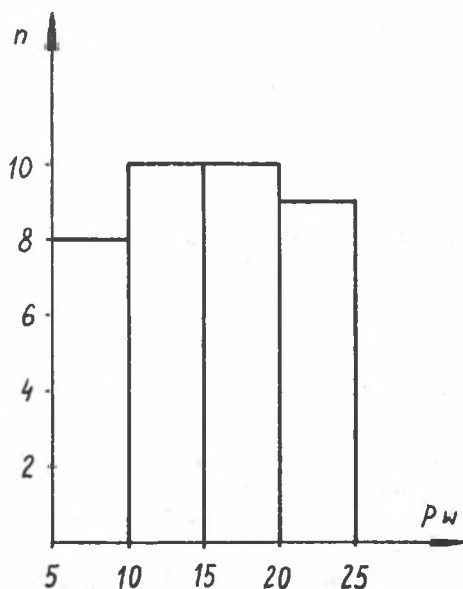
Szereg rozdzielczy zarejestrowanych ciśnień wstępnych przedstawiono na rys. 3.1.

Zakładając, że rozkład ciśnień wstępnych jest normalny, można stwierdzić, że przedział o końcach 14,27 MPa i 17,09 MPa z ufnością 90% pokrywa średnią wartość ciśnienia wstępnego. Ciśnienie wstępne stosunkowo często osiągało wartości niższe od ciśnienia w magistrali zasilającej. Prawdopodobieństwo wystąpienia ciśnienia wstępnego niższego niż 21 MPa wynosi:

$$P(p_w < 21\text{MPa}) = 84,5\%$$

natomiast prawdopodobieństwo wystąpienia ciśnienia wstępnego wyższego niż ciśnienie 25 MPa zakładane w dokumentacji obudowy wynosi:

$$P(p_w > 25\text{MPa}) = 3,8\%$$



Rys.3.1. Szereg rozdzielczy ciśnień wstępnych
 Fig.3.1. The distributive series of setting pressures

3.2. Ciśnienia maksymalne

Również maksymalne ciśnienia statyczne w stojakach zanotowane w trakcie cyklu są niskie. Na rys. 3.2 przedstawiono wykres szeregu rozdzielczego maksymalnych ciśnień statycznych

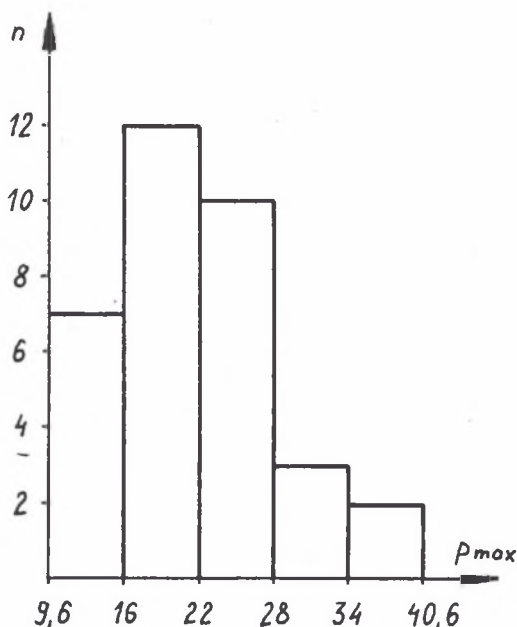
Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że przedział

$$18,4\text{MPa} < p_{\text{max.sr}} < 22,1\text{MPa}$$

z ufnością 90% pokrywa średnią wartość maksymalnego ciśnienia podczas cyklu pracy obudowy. Średnia wartość maksymalnych ciśnień w podporze hydraulicznej w analizowanej próbie wynosiła

$$P_{\text{max.sr}} = 20 \cdot 23\text{MPa}$$

Z wykresu pokazanego na rys. 3.2 wynika również, że maksymalne ciśnienie w przestrzeni podstojakowej zmierzone podczas badań wynosiło 40,6 MPa. Tak wysokie ciśnienia występowały jednak bardzo rzadko. Jedynie w dwóch cyklach maksymalne zmierzone ciśnienie statyczne przekroczyło 34 MPa.



Rys.3.2. Szereg rozdzielczy maksymalnych ciśnień statycznych
Fig.3.2. The distributive series of the maximum static pressures

Przyczyny tego stanu rzeczy mogą być dwojakiego rodzaju. Po pierwsze, brak czujników manometrycznych w sekcjach uniemożliwia jednakowe i pełne ich rozpieranie. Nie jest również możliwa kontrola ciśnienia w stojakach na długości ściany. Po drugie, obciążenie sekcji naciskiem górotworu może być tak niskie, że do utrzymania stanu równowagi stropu bezpośredniego nie będą potrzebne wyższe ciśnienia. O wielkości tych obciążeń może świadczyć tzw. obciążenie obudowy O_{ob} zdefiniowane w [5] jako ciężar bryły tworzącej strop bezpośredni i zasadniczy przypadający na 1 m^2 powierzchni stropnicy. Wartość O_{ob} określana jest na podstawie teorii dopuszczalnego zaciskania wyrobiska [1].

W tablicy 3.1 porównano zmierzone ciśnienia wstępne p_w i maksymalne w czasie cyklu p_{max} , z ciśnieniem po występującym w podporach hydraulicznych wtedy, gdy podporność obudowy równoważny nacisk górotworu wynikający z teorii zaciskania wyrobiska (mówiąc inaczej: wynikający z O_{ob} , określonego na podstawie tej teorii).

Tablica 3.1

Porównanie wyników pomiarów ciśnień w podporach z ciśnieniami równoważącymi obciążenie obudowy O_{ob}

O_{ob}	Ciśnienia w podporach			Prawdopodobieństwo	
	P_0	$P_{w.śr}$	$P_{max.śr}$	$P(p_w < p_0)$	$P(p_{max} > p_0)$
[kNm ⁻²]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	%	%
232	13,5	15,7	20,2	33,81	83,48
257	14,7			42,60	78,77
283	16,5			55,93	70,68
309	17,7			65,02	64,25

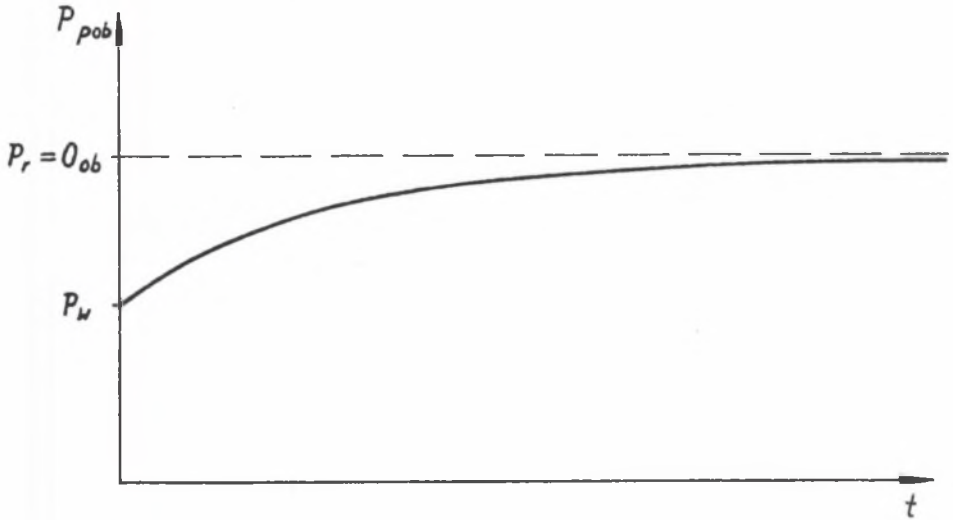
Z danych zestawionych powyżej wynika, że ponad 35% ciśnień wstępnych zarejestrowanych podczas badań było wyższych od ciśnień odpowiadających maksymalnej wartości O_{ob} wskazywałoby na zbyt duże podporności robocze obudowy zmechanizowanej. Z drugiej jednak strony prawdopodobieństwo wystąpienia ciśnienia większego od p_0 jest bardzo duże, co sugerowałoby występowanie w ścianie nacisków wyższych od wynikających z obliczonej wartości O_{ob} . Próbę określenia obciążenia górotworu O_{ob} na podstawie wykonanych pomiarów przedstawiono poniżej.

3.3. Oszacowanie obciążenia obudowy O_{ob} na podstawie wykonanych pomiarów

Obliczenia i wnioski zawarte poniżej wyciągnięto na podstawie pomiarów obciążeń jednej sekcji obudowy, podczas kolejnych 37 cykli pracy. W trakcie badań wykonano kontrolne pomiary ciśnień w podporach hydraulicznych czterech sąsiednich sekcji za pomocą manometrów sprężynowych. Stwierdzono, że ciśnienia w podporach hydraulicznych badanej sekcji nr 193 nie różnią się od ciśnień występujących w sekcjach sąsiednich. Tym niemniej na podstawie tak wykonanych pomiarów nie można wyrokować o stanie współpracy obudowy z górotworem w całej ścianie N791. Celem rozważań przeprowadzonych poniżej jest jedynie uzyskanie odpowiedzi na pytanie o przyczyny stosunkowo niskich ciśnień w przestrzeni roboczej podpór hydraulicznych badanej sekcji. Odpowiedź na to pytanie ma istotne znaczenie przy interpretacji zmierzonych obciążeń dynamicznych.

Próbie określenia obciążenia obudowy O_{ob} a ściślej ciśnienia p_o w podporach hydraulicznych niezbędnego do zrównoważenia O_{ob} , oparto na założeniu o istnieniu liniowej zależności ciśnienia w podporze hydraulicznej od czasu, jaki minął od rozparcia obudowy.

Zgodnie z [4], w przypadku prawidłowego zastosowania obudowy, tzn. wtedy, gdy podporność wstępna P_w jest mniejsza od obciążenia obudowy O_{ob} , podporność pracy obudowy p_{pob} rośnie, tak jak pokazano to na rys. 3.3.



Rys.3.3. Przebieg zmian podporności pracy obudowy podczas cyklu w przypadku poprawnie zastosowanej obudowy

Fig.3.3. The course of changes in a shield load during a shield cycle for the shield properly applied

W przypadku gdy

$$P_w > O_{ob}$$

stan równowagi pomiędzy obudową a górtworem ustali się na wyższym poziomie. Teoretycznie rzecz biorąc podporność obudowy powinna nie zmieniać się w czasie. W praktyce jednak czasami podporność obudowy rośnie, co można tłumaczyć np. osiadaniem stropu geometrycznie ciągłego. Tym niemniej można założyć, że dla cykli, w których podporność wstępna jest wyższa od O_{ob} liniowa zależność podporności pracy

obudowy od czasu będzie trudniejsza od statycznego udowodnienia lub wręcz niemożliwa.

Jeżeli założyć, że $O_{ob} = 232 \text{ kN m}^{-2}$ (tzn. $p_o = 13,5 \text{ MPa}$), to w cyklach ciśnienie wstępne w podporach hydraulicznych spełnia warunek

$$p_w < p_o$$

Średnia wartość maksymalnego ciśnienia osiągniętego w tych cyklach wynosiła

$$P_{\max.sr} = 13,57 \text{ MPa}$$

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że pomiędzy maksymalnym ciśnieniem p_{\max} a czasem jego wystąpienia istnieje korelacja (współczynnik korelacji $\rho = 0,623$), a zależność tych dwóch zmiennych opisuje prosta regresji o równaniu:

$$p_{\max} = 11,27 + 0,0146t$$

[p] = MPa; [t] = min

Podobnie istnieje korelacja pomiędzy przyrostem ciśnienia w podporze a czasem ($\rho = 0,672$), opisywana przez prostą regresji o równaniu:

$$\Delta p = 2,15 + 0,01223t$$

[p] = MPa; [t] = min

Równocześnie wykazano, że przyrost ciśnienia Δp nie jest skorelowany z ciśnieniem wstępnym p_w . Obliczony współczynnik korelacji wynosi $\rho = -0,02698$.

Analizując z kolei cykle, dla których

$$p_w > p_o = 13,5 \text{ MPa}$$

stwierdzono, że średnia wartość ciśnienia maksymalnego wynosi

$$P_{\max.sr} = 23,42 \text{ MPa}$$

a ciśnienie p_{\max} nie jest skorelowane z czasem ($\rho = -0,071$).

Wyniki obliczeń współczynnika korelacji pomiędzy ciśnieniem p_{\max} a czasem, w którym ono wystąpiło, dla analizowanych grup cykli zestawiono w tablicy 3.2.

Jak widać, dla cykli, dla których $p_w < p_o = 13,5 \text{ MPa}$, istnieje stosunkowo mocna korelacja pomiędzy ciśnieniem maksymalnym a czasem jego wystąpienia.

Tablica 3.2

Wyniki obliczeń współczynnika korelacji pomiędzy $p_{\max.\text{śr}}$ a czasem jego wystąpienia dla wyróżnionych grup cykli

O_{ob}	p_0	$p_w \leq p_0$			$p_w > p_0$		
		liczba cykli	$p_{\max.\text{śr}}$	ρ	liczba cykli	$p_{\max.\text{śr}}$	ρ
kNm^{-2}	MPa		MPa			MPa	
232	13.5	12	135	0.623	25	23.4	-0.091
260	14.7	16	14.8	0.299	21	23.8	-0.006
283	16.5	21	16.5	0.153	16	24.4	0,042
309	17.7	24	16.7	0.117	13	25.8	-0.231

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie 12 cykli pracy obudowy, w których ciśnienie wstępne było niższe od $p_0 = 13,5$ MPa, można stwierdzić, że:

- 1) istnieje korelacja pomiędzy maksymalnym ciśnieniem w trakcie cyklu a czasem jego trwania
- 2) współczynnik prostej regresji jest dodatni, tak więc ciśnienie rośnie z czasem.

Nie można tego powiedzieć o wynikach obliczeń parametrów prostej regresji dla cykli, w których:

$$13,5 < p_w < 17,0$$

Współczynnik korelacji jest niski, a ponadto statystycznie rzecz biorąc, maksymalne ciśnienie maleje ze wzrostem długości czasu trwania cyklu. Można więc przyjąć, że obciążenie górotworu nad badaną sekcją wynosiło

$$O_{\text{ob}} = 232 \text{ kNm}^{-2}$$

co odpowiada średniemu ciśnieniu w podporach hydraulicznych, wynoszącemu

$$p_0 = 13,5 \text{ MPa}$$

Obciążenie obudowy obliczone w ten sposób pokrywa się z obciążeniem O_{ob} wyznaczonym na podstawie teorii dopuszczalnego zaciskania wyrobiska w przypadku stropu klasy II i wysokości ściany wynoszącej 2,4 m.

Tak więc ostatecznie można stwierdzić, że zmierzone niskie wartości ciśnień w podporach wynikają głównie ze stosunkowo niewielkich obciążeń obudowy, a nie z wad i nieszczelności układu hydraulicznego.

Wyniki pomiarów i wykonanych obliczeń po raz kolejny potwierdziły tezę o zbyt dużych podpornościach wstępnych i roboczych obecnie stosowanych ścianowych obudów zmechanizowanych.

LITERATURA

- [1] Biliński A.: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej w pokładach węgla. ZN Pol. Śl., ser. Górnictwo z. 31, Gliwice 1968.
- [2] Fober St., Markowicz J., Szweda St.: Metoda pomiarów wybranych parametrów charakteryzujących obciążenie dynamiczne obudowy zmechanizowanej występującej w warunkach eksploatacji górniczej. ZN Pol. Śl., ser. Górnictwo z. 210, Gliwice 1993, s. 35 - 49.
- [3] Szuścik W.: Pomiary wielkości fizycznych charakteryzujących obciążenia dynamiczne obudów zmechanizowanych. Materiały Sympozjum Sekcji Tapań Kocierz, listopad 1993 (w druku).
- [4] Szuścik W.: Statyczne i dynamiczne obciążenia obudów zmechanizowanych. Projekt Badawczy nr 990349203. Materiały nie publikowane. Komag, Gliwice 1992.
- [5] Szuścik W., Bąk J., Zastawny E.: Współpraca obudowy zmechanizowanej z górotworem zagrożonym tapaniami w ścianach prowadzonych z zawałem stropu. Przegląd Górnictwa 1984, nr 4, s. 99 - 102.

Recenzent: Doc.dr inż. Stanisław **ROMANOWICZ**

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1993 r.

Abstract

Underground measurements of the resultant load of hydraulic legs carried out continuously make it possible to determine time courses of shield loads as well as static load occurring in a logwall. The measurements were carried out in the Zabrze - Biel-

szowice mine in the N791 longwall, of the height of 2,4 m, mined in the 502 seam. The immediate roof is formed by 1,1 thick mudstone layer above which 14,2 m sandstone layer is situated.

Quasi static changes in shield loads during 37 cycles, defined as the time between the setting of a shield support and drawing a section off, were analysed. It has been found that the closed interval between 14,27 MPa and 17,09 MPa covers the mean value of a setting pressure with the confidence level of 90 %. The probability of a setting pressure lower than the pressure rating in the supply main is 84,5%.

The recorded maximum static pressures in legs are also low. The expectation value of the maximum pressure in the sample analysed was 20,23 MPa. The recorded maximum static pressure was greater than 34 MPa in two shield cycles only. The recorded setting pressures p_w and maximum pressures in the shield cycle p_{max} have been compared with the pressure p_o , occurring in hydraulic legs when the shield load equilibrates the roof weight O_{ob} determined on the basis of the working clamp limit theory.

Over 35% of the recorded setting pressures were greater than p_o which indicated that the yield load of the shield was too high. On the other hand the probability of occurrence of a pressure in legs greater than p_o is large, which suggests an occurrence of roof weights greater than O_{ob} determined for the longwall.

An attempt at determining the pressure in legs p_o essential for equilibrating of O_{ob} is based on the assumption of an existence of a linear dependence between the maximum pressure in a hydraulic leg and the shield cycle time. A linear correlation between the maximum pressure p_{max} and the time of its occurrence (correlation coefficient $\rho = 0,623$) has been stated on the ground of calculations carried out for 12 shield cycles characterized by p_w lower than 13,5 MPa. The dependence between these two random variables is described by the regression line:

$$p_{max} = 11,27 + 0,146 t \quad ; [p] = \text{MPa}, [t] = \text{min.}$$

It was also found, that there was no correlation between the pressure p_{max} and the time of its occurrence for the shield cycles characterized by:

$$p_w > p_o = 13,5 \text{ MPa.}$$

It can be assumed that the roof weight in the place of taking measurements was $O_{ob} = 232 \text{ kNm}^{-2}$, which corresponds with the mean pressure in legs of the value of 13,5 MPa.

In conclusion: the recorded low values of pressures in legs were caused mainly by a relatively low roof weight, not by defects and leakage of the hydraulic system of a support.