

Marek JASZCZUK, Arkadiusz PAWLIKOWSKI  
Politechnika Śląska, Gliwice

## CHARAKTERYSTYKI PODPORNOŚCIOWE SEKCJI OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metodę wyznaczania charakterystyk podporności sekcji obudowy zmechanizowanej, wynikających z kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy, z uwzględnieniem współczynnika ściśliwości cieczy w przestrzeniach roboczych siłowników podpornościowego układu hydraulicznego, zależnego od stopnia zapowietrzenia. Analizę przeprowadzono dla płaskiego modelu sekcji obudowy zmechanizowanej. Charakterystyki podpornościowe sekcji obudowy zmechanizowanej wyznaczono dla różnych wartości podporności wstępnej, na podstawie przyrostu siły w stojakach i podporze stropnicy wynikającej z ruchu stropnicy.

## LOAD CHARACTERISTICS OF POWERED ROOF SUPPORT UNITS

**Summary.** There is presented a method for determination of load characteristics of powered roof support units forced by canopy movement. Compressibility of the hydraulic medium in actuators and a degree of air content in the hydraulic medium are taking into consideration. The analysis was carried out for a 2-D model of the powered roof support unit. The load characteristics of the FAZOS 12/28-POz support unit have been determined for deferent values of setting load on the basis of force increment in legs and in a canopy ram, caused by canopy movement.

### 1. Wprowadzenie

Prawidłowy dobór sekcji obudowy zmechanizowanej do określonych warunków górniczo-geologicznych wyrobiska ścianowego decyduje o bezpieczeństwie prowadzonych prac oraz o wynikach produkcyjnych. Podstawowym zadaniem obudowy jest zabezpieczenie przed zawałem lub obwalem stropu, stąd ważnym zagadnieniem jest analiza współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem zarówno w warunkach obciążenia statycznego, jak i dynamicznego. Do tego niezbędne są charakterystyki podpornościowe

sekcji obudowy zmechanizowanej, umożliwiające modelowanie zachowania górotworu wokół wyrobiska ścianowego. Modelowanie komputerowe zagadnień współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem, z wykorzystaniem programów metody elementów odrębnych, wymaga ustalenia związku pomiędzy przemieszczeniem skał stropowych a podpornością sekcji obudowy zmechanizowanej.

Bardzo ważnym problemem, z punktu widzenia współpracy obudowy z górotworem, jest prawidłowy dobór podporności wstępnej, gdyż zbyt duża wartość tej podporności powodować może niszczenie skał stropu bezpośredniego utworzonego ze skał słabych, a zbyt mała prowadzi do nadmiernego osiadania stropu i jego rozluźnienia [1,2,5].

Kolejnym czynnikiem, mającym wpływ na warunki utrzymania stropu, jest skłonność do zapowietrzania się przestrzeni roboczej, wynikająca z konstrukcji siłowników hydraulicznych [7]. Ilość powietrza zawarta w przestrzeniach roboczych siłowników, ze względu na jego wielokrotnie większą ściśliwość od cieczy, ma wpływ na charakterystykę podpornościową stojaka oraz całej sekcji.

W niniejszej pracy przedstawiono zależność podporności sekcji obudowy zmechanizowanej od kąta ugięcia bryły stropu bezpośredniego, w warunkach obciążenia statycznego, z uwzględnieniem współczynnika ściśliwości cieczy oraz zróżnicowanej podporności wstępnej.

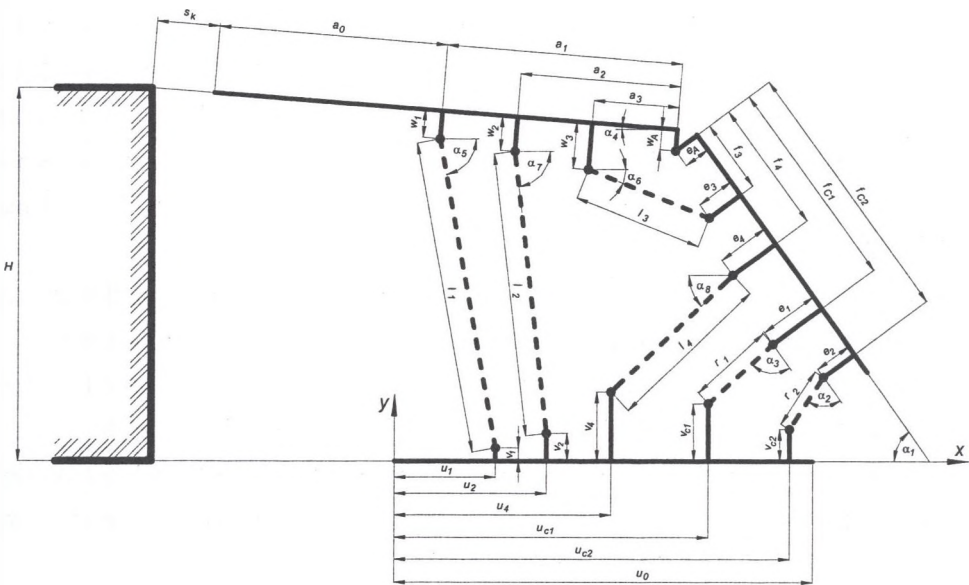
## **2. Metodyka wyznaczania charakterystyki podpornościowej sekcji obudowy zmechanizowanej**

W metodzie wyznaczania podporności sekcji obudowy zmechanizowanej wykorzystano zasadę kinetostatyki. W zależności od przyjętych założeń upraszczających, dotyczących położenia prostej działania wektora obciążenia dynamicznego sekcji, można rozpatryć model płaski, bądź przestrzenny sekcji.

Z przeprowadzonej analizy obciążenia statycznego sekcji wynika, że wyznaczenie w przestrzeni położenia prostej działania wektora obciążenia zewnętrznego sekcji, pochodzącego od strony stropu jest obarczone znacznie większym błędem w porównaniu z modelem płaskim [6]. Biorąc powyższe pod uwagę, w dalszych rozważaniach przyjęto płaski model fizyczny sekcji obudowy zmechanizowanej.

Identyfikacja podporności sekcji, przy założeniu stałej objętości cieczy w przestrzeniach roboczych siłowników, wynikającej z kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy wymaga

wyznaczenia w pierwszej kolejności zmian długości stojaków hydraulicznych  $\Delta l_1$  i podpory stropnicy  $\Delta l_3$ , na skutek ruchu wymuszającego. W tym celu opracowano „uogólniony” model sekcji obudowy zmechanizowanej (rys.1), uwzględniający wymiary geometryczne zależne od wysokości pracy sekcji i kąta pochylenia stropnicy oraz wymiary geometryczne stałe – niezależne od wysokości sekcji [3, 4].



Rys. 1. „Uogólniony” schemat kinematyczny sekcji [3,4]

Fig. 1. „Generalized” kinematic diagram of a support unit [3,4]

Parametrami stałymi, zależnymi od geometrycznych cech konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej, są następujące wymiary poszczególnych elementów sekcji (rys.1):

- spagnica –  $u_1, u_2, u_4, u_{c1}, u_{c2}, u_0, v_1, v_2, v_4, v_{c1}, v_{c2}$ ,
- osłona odzawałowa –  $e_A, e_3, e_4, e_1, e_2, f_3, f_4, f_{c1}, f_{c2}$ ,
- stropnica –  $a_3, a_2, a_1, a_0, W_A, W_3, W_2, W_1$ ,
- łączniki układu lemniskatowego –  $r_1, r_2$ .

Wielkościami geometrycznymi, zmieniającymi się w trakcie użytkowania sekcji są:

- wymiary liniowe –  $l_1, l_2, l_3, l_4, H$ ,
- wymiary katowe –  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8$ .

Schemat kinematyczny sekcji obudowy zmechanizowanej, odpowiadający określönemu rozwiązaniu konstrukcyjnemu, otrzymuje się poprzez eliminację w modelu „uogólnionym” odpowiednich siłowników hydraulicznych.

Model ten umożliwia jednoznaczne wyznaczenie wielkości, opisujących geometrię sekcji na podstawie identyfikacji dwóch wielkości geometrycznych, które zmieniają się w trakcie ruchu stropnicy, wymuszonego przemieszczeniem stropu wyrobiska ścianowego.

Wyznaczone dla przyjętej sekcji obudowy zmechanizowanej wartości zmiany długości siłowników hydraulicznych  $\Delta l_1$  i  $\Delta l_3$  [3,4], wynikające z kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy, służą do wyznaczenia przyrostu siły w stojakach hydraulicznych  $\Delta R_1$  oraz podporze stropnicy  $\Delta R_3$ . Celem oszacowania przyrostów sił  $\Delta R_1$  i  $\Delta R_3$ , oprócz założenia stałej objętości cieczy w przestrzeniach roboczych, przyjęto dodatkowe założenia upraszczające [8]:

- sprężyste odkształcenia rdzenników, spowodowane obciążeniem zewnętrznym, są pomijalnie małe w porównaniu z odkształceniami promieniowymi ścianek cylindrów,
- odkształcenia promieniowe cylindra, spowodowane wzrostem ciśnienia w przestrzeniach roboczych, są stałe na całej wysokości słupa cieczy w przestrzeniach roboczych.

Na rys. 2 przedstawiono schemat podpory stropnicy, przyjęty do obliczeń przyrostu siły w przestrzeni roboczej siłownika. Wskutek wytworzenia ciśnienia  $p$  w przestrzeni roboczej podpory stropnicy, objętość cieczy zmniejszyła się o:

$$\Delta V = \pi \cdot e_w \cdot p \cdot (r_w^2 - r_t^2) \cdot l_c \quad (1)$$

$r_w$  – promień wewnętrzny cylindra,

$r_t$  – promień rdzennika,

$l_c$  – wysokość słupa cieczy w przestrzeni roboczej,

$e_w$  – współczynnik ściśliwości emulsji olejowo-wodnej.

$$V' = V - \Delta V = \pi \cdot (r_w^2 - r_t^2) \cdot l_c \cdot (1 - e_w \cdot p) = \pi \cdot [(r_w + u_w)^2 - r_t^2] \cdot (l_c - \Delta l) \quad (2)$$

$u_w$  – przemieszczenie wewnętrznej ścianki cylindra.

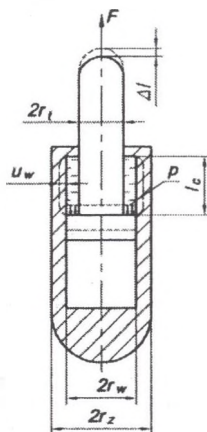
$$u_w = \frac{p \cdot r_w}{E_c} \cdot \left( \frac{\beta^2 + 1}{\beta^2 - 1} + \nu_c \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{r_z}{r_w}$$

$r_w$  – promień wewnętrzny cylindra,

$r_z$  – promień zewnętrzny cylindra,

$E_c, \nu_c$  – stałe materiałowe cylindra.



Rys. 2. Schemat podpory stropnicy

Fig. 2. Diagram of a canopy ram

Przyrost siły w przestrzeni roboczej podpory stropnicy  $\Delta R_3$  wynosi:

$$\Delta R_3 = p \cdot S_3 \quad (4)$$

$S_3$  – powierzchnia tłoka podpory stropnicy.

Wartość siły  $R_3$ , wynikająca z kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy, jest sumą wartości przyrostu siły  $\Delta R_3$  i podporności wstępnej podpory stropnicy:

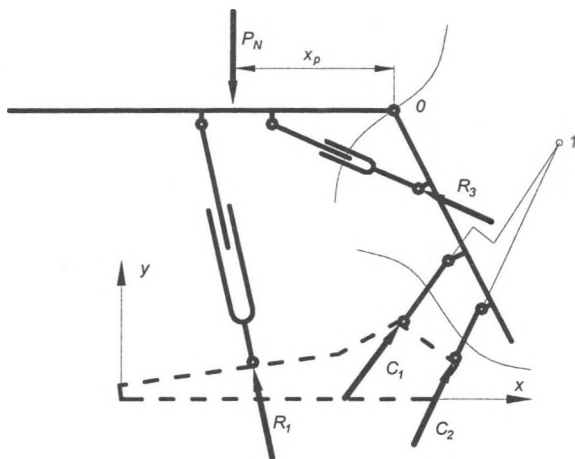
$$R_3 = P_{03} + \Delta R_3 \quad (5)$$

$P_{03}$  – podporność wstępna podpory stropnicy.

Podobne obliczenia wykonano dla wyznaczenia przyrostu siły w stojakach hydraulicznych  $\Delta R_1$  oraz wartości siły w stojakach  $R_1$ .

Na podstawie przyrostu sił wewnętrznych, wynikających z kinematycznego wymuszenia ruchu stropnicy dla danej podporności wstępnej oraz zależności wiążących wielkości stałe, zależne od geometrycznych cech konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej i zmienne wielkości geometrycznych, można wyznaczyć składową obciążenia zewnętrznego sekcji oraz jej punkt przyłożenia na stropnicy.

Model obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej, służący do wyznaczenia sił wewnętrznych dla zadanego obciążenia zewnętrznego, przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Model obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej  
Fig. 3. Model of a load acting on a powered roof support unit

W celu wyznaczenia składowej pionowej obciążenia zewnętrznego  $P_N$  oraz współrzędnej punktu jej przyłożenia na stropnicy  $x_p$ , zastosowano metodę przecięć. Uzyskano dwa równania równowagi, w postaci sumy momentów względem punktów 0 i 1.

$$\Sigma M_{i0} = 0$$

$$2R_1 \cdot [a_1 \cdot \sin(\alpha_5) + (w_1 - w_a) \cdot \cos(\alpha_5)] + \\ - R_3 \cdot [a_3 \cdot \sin(\alpha_6) + (w_3 - w_a) \cdot \cos(\alpha_6)] - P_N \cdot x_p = 0 \quad (6)$$

$$\Sigma M_{i1} = 0$$

$$2R_1 \cdot [(x_1 - x_a + a_1) \cdot \sin(\alpha_5 + \alpha_4) - (y_a + w_a - w_1 - y_1) \cdot \cos(\alpha_5 + \alpha_4)] + \\ - P_N \cdot [(x_1 - x_a + x_p \cdot \cos \alpha_4) \cdot \cos \alpha_4 + (y_a + x_p \cdot \sin \alpha_4 - y_1) \cdot \sin \alpha_4] = 0$$

Na podstawie powyższych równań wyznaczono charakterystyki podporności sekcji obudowy zmechanizowanej, w zależności od kąta ugięcia bryły stropu bezpośredniego  $\alpha_4$  dla przyjętego wymuszenia kinematycznego.

### 3. Charakterystyki podpornościowe sekcji obudowy zmechanizowanej FAZOS 12/28 – POz

Charakterystyki podpornościowe sekcji obudowy zmechanizowanej FAZOS 12/28–POz wyznaczone zostały poprzez symulację ruchu obrotowego bryły stropu bezpośredniego wokół

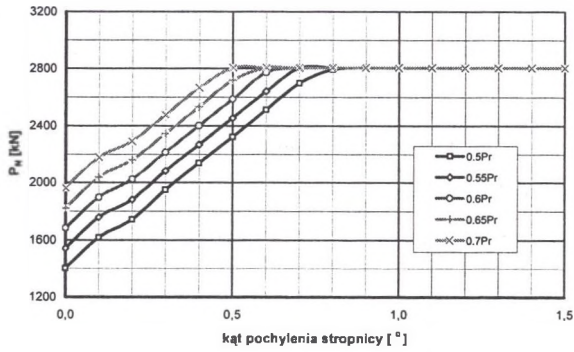


punktu wyznaczonego przez przecięcie linii: obrazującej czoło ściany i dolnej krawędzi stropu bezpośredniego. Analizę przeprowadzono dla różnych wysokości pracy sekcji obudowy zmechanizowanej, przy założeniu stałej objętości cieczy w przestrzeniach roboczych siłowników, z uwzględnieniem zmiennego ciśnienia wstępnego w stojakach i podporze stropnicy oraz różnego współczynnika ściśliwości cieczy roboczej.

Analizę przeprowadzono dla całego zakresu pracy sekcji, wynoszącego  $1,4\text{ m} \div 2,6\text{ m}$  z krokiem obliczeniowym  $0,3\text{ m}$ . Symulację przeprowadzono dla podporności wstępnej, wynoszącej odpowiednio  $0,5$ ;  $0,55$ ;  $0,6$ ;  $0,65$ ;  $0,7$  podporności roboczej stojaka hydraulicznego, wynoszącej  $1500\text{ kN}$ , dla wartości współczynnika ściśliwości emulsji olejowo-wodnej, wynoszącej  $e_w = 5 \cdot 10^{-4}\text{ MPa}^{-1}$ . Stopień zapowietrzenia zmieniano poprzez przyjęcie wartości współczynnika ściśliwości cieczy  $7,5 \cdot 10^{-4}\text{ MPa}^{-1}$  i  $10 \cdot 10^{-4}\text{ MPa}^{-1}$ .

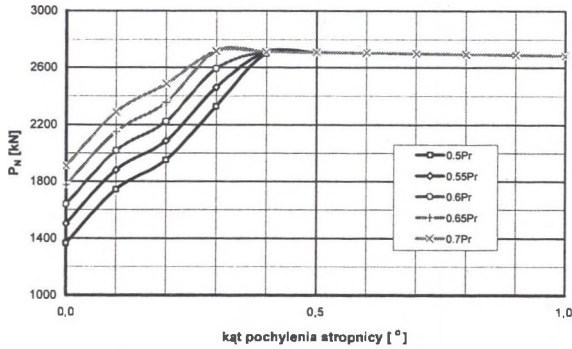
Na rys. 4, 5, 6 przedstawiono charakterystyki podpornościowe sekcji obudowy przy wysokości stosowania wynoszącej odpowiednio  $2,6\text{ m}$ ,  $2,0\text{ m}$ ,  $1,4\text{ m}$  dla emulsji olejowo-wodnej niezapowietrzonej. Z przedstawionych danych wynika, że na wartość kąta nachylenia bryły stropu bezpośredniego, przy którym sekcja obudowy osiąga podporność roboczą, wpływa zarówno podporność wstępna, jak i wysokość stosowania sekcji. Wpływ podporności wstępnej jest największy w górnym zakresie stosowania sekcji (rys. 4). Stosowanie podporności wstępnej równej  $0,5 P_r$  sprawi, że podporność robocza jest osiągnięta przy ugięciu stropu o  $60\%$  większym w porównaniu z sytuacją, gdy podporność wstępna wynosi  $0,7 P_r$ . Zmniejszenie wysokości sprawi, że wpływ podporności wstępnej na ugięcie stropu jest zdecydowanie mniejszy (rys. 5, 6). Wysokość stosowania ma decydujący wpływ na ugięcie stropu, przy którym sekcja osiąga podporność roboczą. Dla przykładu, w przypadku rozpatrywanej sekcji, przy podporności wstępnej równej  $0,5 P_r$  wartość ugięcia stropu bezpośredniego przy wysokości stosowania  $2,0\text{ m}$  jest dwukrotnie mniejsza w porównaniu z wysokością  $2,6\text{ m}$ , a przy wysokości  $1,4\text{ m}$  sześciokrotnie mniejsza.

Na charakterystykę podpornościową rozpatrywanej sekcji obudowy zmechanizowanej istotnie wpływa zapowietrzenie medium roboczego, przy czym siła oddziaływania zależy od wysokości stosowania sekcji (rys. 7, 8, 9).



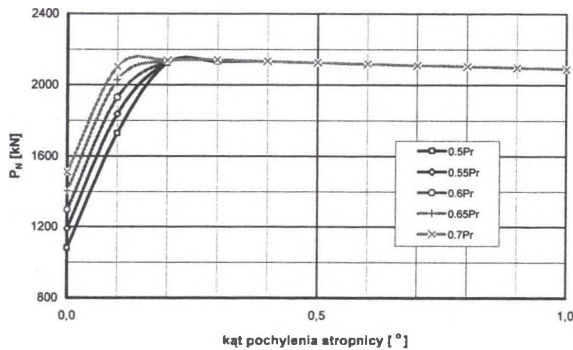
Rys. 4. Charakterystyki podpornościowe sekcji dla wysokości  $H=2,6$  m i  $e_w=5 \cdot 10^{-4}$   $\text{MPa}^{-1}$  uwzględniające zmienność podporności wstępnej

Fig. 4. Load characteristics of a support unit for height  $H=2,6$  m i  $e_w=5 \cdot 10^{-4}$   $\text{MPa}^{-1}$  including variation of setting load



Rys. 5. Charakterystyki podpornościowe sekcji dla wysokości  $H=2,0$  m i  $e_w=5 \cdot 10^{-4}$   $\text{MPa}^{-1}$  uwzględniające zmienność podporności wstępnej

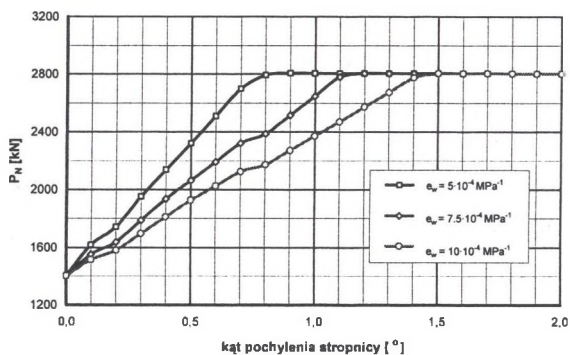
Fig. 5. Load characteristics of a support unit for height  $H=2,0$  m i  $e_w=5 \cdot 10^{-4}$   $\text{MPa}^{-1}$  including variation of setting load



Rys. 6. Charakterystyki podpornościowe sekcji dla wysokości  $H=1,4$  m i  $e_w=5 \cdot 10^{-4}$   $\text{MPa}^{-1}$  uwzględniające zmienność podporności wstępnej

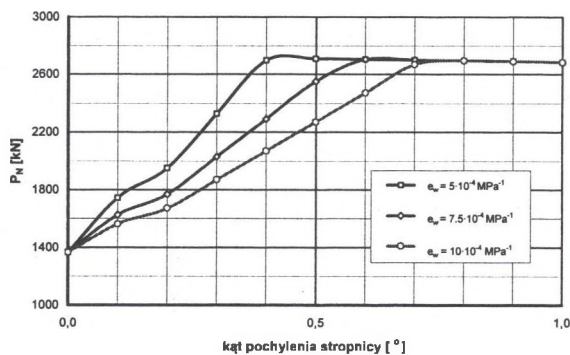
Fig. 6. Load characteristics of a support unit for height  $H=1,4$  m i  $e_w=5 \cdot 10^{-4}$   $\text{MPa}^{-1}$  including variation of setting load





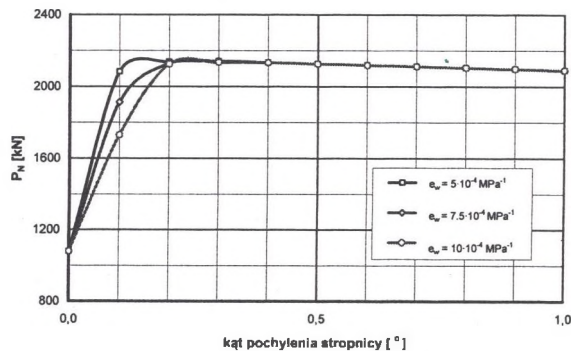
Rys. 7. Charakterystyki podpornościowe sekcji dla wysokości  $H=2,6$  m i  $P_0=0,5P_r$ , dla różnego stopnia zapowietrzania emulsji olejowo-wodnej

Fig. 7. Load characteristics of a support unit for height  $H=2,6$  m i  $P_0=0,5P_r$ , for different degree of air content of the hydraulic medium



Rys. 8. Charakterystyki podpornościowe sekcji dla wysokości  $H=2,0$  m i  $P_0=0,5P_r$ , dla różnego stopnia zapowietrzania emulsji olejowo-wodnej

Fig. 8. Load characteristics of a support unit for height  $H=2,0$  m i  $P_0=0,5P_r$ , for different degree of air content of the hydraulic medium



Rys. 9. Charakterystyki podpornościowe sekcji dla wysokości  $H=1,4$  m i  $P_0=0,5P_r$ , dla różnego stopnia zapowietrzania emulsji olejowo-wodnej

Fig. 9. Load characteristics of a support unit for height  $H=1,4$  m i  $P_0=0,5P_r$ , for different degree of air content of the hydraulic medium

Z badań przeprowadzonych przez S.Rajwę [7] wynika, że wskutek zapowietrzenia współczynnik ściśliwości medium roboczego może być dwukrotnie większy. Wówczas przy wysokości stosowania sekcji równej 2,6 m ugięcie stropu, przy którym osiąga się podporność roboczą, wynosi  $1,5^\circ$  i jest około dwukrotnie większe w porównaniu z sytuacją, gdy emulsja nie jest zapowietrzona (rys.7). Wraz ze zmniejszaniem wysokości stosowania bezwzględna wartość ugięcia zdecydowanie maleje i wynosi odpowiednio  $0,75^\circ$  przy wysokości 2,0 m (rys. 8) i  $0,15^\circ$  przy wysokości 1,4m (rys. 9).

#### 4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych symulacji i wyznaczonych charakterystyk podpornościowych wnioskować można, że kąt ugięcia skał stropu bezpośredniego, w trakcie jednego cyklu pracy sekcji jest niewielki. Stwierdzono bowiem, że przy kątach ugięcia stropu bezpośredniego, większych od  $0,8^\circ$  sekcja obudowy zmechanizowanej osiąga podporność roboczą. Ponieważ z badań dołowych wynika, że w znikomą małą liczbę przypadków w warunkach dołowych osiągana jest podporność robocza, można założyć, że w trakcie użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej występuje zapowietrzenie stojaków. Wówczas podporność roboczą uzyskuje się przy kącie ugięcia stropu wynoszącym  $1,5^\circ$ .

Wraz ze zmniejszaniem wysokości stosowania sekcji obudowy zmechanizowanej dla uzyskania podporności roboczej wymagane jest coraz mniejsze wymuszenie kinematyczne. Wynika to z faktu, iż w przestrzeniach roboczych siłowników znajduje się mniej cieczy i stąd przy zmniejszeniu długości siłowników hydraulicznych występuje szybszy wzrost ciśnienia.

#### LITERATURA

1. Biliński A.: Zasady utrzymania wyrobiska w ścianach zawałowych. Prace GIG. Katowice 1992.
2. Biliński A.: Zasady utrzymania wyrobiska w ścianach zagrożonych tapaniami stropowymi. Archiwum Górnictwa. Tom 28. Zeszyt 2. Kraków 1983.
3. Jaszczuk M., Markowicz J., Pawlikowski A.: Modelowanie dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcję obudowy zmechanizowanej z wykorzystaniem zasady kinetostatyki. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Górnictwo 2004.

4. Jaszczuk M., Markowicz J., Pawlikowski A.: Wyznaczanie przebiegów czasowych składowych wektora obciążenia dynamicznego sekcji obudowy zmechanizowanej KOMTECH 2004. Ustroń, 15-17 listopad 2004.
5. Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1982.
6. Markowicz J., Ober G., Szweda St.: Ocena dokładności wyznaczania obciążenia stropnicy i osłony sekcji obudowy zmechanizowanej na podstawie wyników pomiarów dołowych. Szkoła Mechanizacji i Automatyzacji Górnictwa. Wisła, kwiecień 2004.
7. Rajwa S.: Wpływ konstrukcji stojaka hydraulicznego w ścianowej obudowie zmechanizowanej na utrzymanie stropu. Praca doktorska. Katowice 2004.
8. Szweda S.: Identyfikacja parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji obudowy zmechanizowanej spowodowane dynamicznym oddziaływaniem górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Gliwice 2004.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Antoni Kalukiewicz