ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: GÓRNICTWO z. 175 Nr kol. 986

Kazimierz STOIŃSKI

METODA BADAŃ STOJAKÓW HYDRAULICZNYCH UDAREM MASY

Streszczenie. Górotwór naruszony eksploatacją górniczą oddziałuje na obudowę statycznie ciężarem skał stropowych oraz dynamicznie podczas np. tąpnięcia. Przyjęcie tąpnięcia jako ruchu bloków skalnych czy utraty nośności warstw powoduje, że obciążenie dynamiczne ma charakter udaru masy. Biorąc pod uwagę olbrzymie masy biorące udział w tąpnięciu i niewielkie ich ruchy pionowe, zaproponowano metodę badań przystosowaną do rzeczywistych warunków pracy. Zaproponowana metoda jest metodą kafarową odpowiednio zmodyfikowaną. Modyfikacja polega na zastosowaniu masy bijaka o ciężarze zbliżonym do podporności roboczej opuszczanego swobodnie z wysokości wynikającej z oczekiwanej energii udaru czy tąpnięcia. Zasadność przyjętej metody przedstawiono na przykładzie stojaka SHC-40Z PO. Wpływ mas na charakterystyki stojaka przedstawiono analitycznie, przyjmując model matematyczny o dwóch stopniach swobody i dyskretne rozłożenie masy i sprężystości.

1. Wstęp

Przydatność obudów czy stojaków hydraulicznych do pracy w pokładach zagrożonych tąpaniami ocenia się na podstawie badań oraz obserwacji ruchowych. Badania obejmują wyznaczanie ciśnień cieczy hydraulicznej, naprężeń w wybranych elementach konstrukcji oraz zsuwu przy różnych obciążeniach dynamicznych. Badania prowadzą wyspecjalizowane jednostki wyposażone w odpowiednie stoiska oraz metodyki pomiarowe. Duża różnorodność stosowanych metodyk i stoisk badawczych powoduje, że niejednokrotnie nie można porównać pomiędzy sobą wyników uzyskanych doświadczalnie. Można mieć również uwagi co do zgodności niektórych warunków badań z warunkami pracy, w szczególności przy obciążeniu dynamicznym w postaci udaru masowego czy udaru siły. Coraz częstsza eksploatacja pokładów zagrożonych tąpaniami wymaga ujednolicenia metod badawczych i stoisk badawczych w takim stopniu, aby istniała możliwość jednoznacznych porównań charakterystyk dynamicznych wyznaczanych doświadczalnie.

Analiza stosowanych metod i stoisk badawczych, prace dotyczące górotworu naruszonego eksploatacją górniczą, krajowe możliwości wykonawcze stoisk skłaniają do przyjęcia do badań dynamicznych obudów i stojaków metody kafarowej odpowiednio zmodyfikowanej. Modyfikacja powinna polegać na zasto-

sowaniu bijaka o ciężarze zbliżonym do podporności roboczej, opuszczanego z wysokości odpowiadającej wymaganej energii udaru. Praca ma na celu wykazanie zasadności przyjęcia podanej metody badania, a w perspektywie wprowadzenie odpowiedniego zapisu w wymaganiach dotyczących badań stojaków i obudów przeznaczonych do pokładów zagrożonych tąpaniami. Zaproponowaną metodę badań przedstawiono wyznaczając charakterystyki dynamiczne w sposób analityczny na przykładzie stojaka SHC-40Z PO, dla którego przyjęto model o dwóch stopniach swobody i dyskretne rozłożenie masy i sprężystości.

2. Wprowadzenie

Doświadczalne wyznaczanie charakterystyk dynamicznych obudów i stojaków hydraulicznych dokonuje się obecnie w trzech podstawowych typach stoisk badawczych, wykorzystujących:

- urządzenia kafarowe,
- prasy z akumulatorami hydraulicznymi,
- urządzenia wybuchowe.

W wymienionych stoiskach wyznacza się ciśnienie cieczy hydraulicznej, naprężenia w wybranych elementach, suw tłoka dla różnych obciążeń dynamicznych, podporności wstępnych, wysuwów tłoczyska czy rozwiązań konstrukcyjnych. Stoiska kafarowe [2, 4] wykorzystuje się najczęściej do badań stojaków i podpór hydraulicznych bez lub z zaworami bezpieczeństwa. Energia udaru jest wielkością decydującą o ocenie odporności na obciążenie dynamiczne. Poszczególne stoiska pozwalają wytworzyć energię udaru w zakresie 10-500 kJ, stosując masy udarowe 1-20 ton.

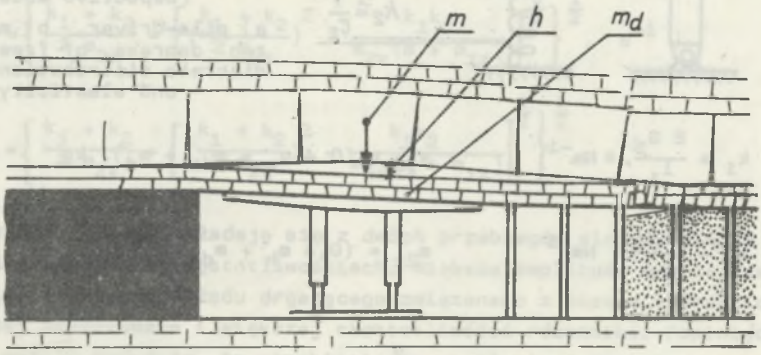
Prasy z akumulatorami hydraulicznymi [2, 5] wykorzystuje się do badania pojedynczych sekcji obudowy ścianowej, stojaków i podpór hydraulicznych wyposażonych w zawory bezpieczeństwa. Dla tego typu badań decydującym parametrem jest możliwość przejęcia obciążenia dynamicznego w postaci wymuszenia prędkości. Wymuszenie prędkości posiada zadany przebieg w funkcji czasu, a wielkości maksymalne prędkości zawierają się w zakresie 0,3-2 ms^{-1} w zależności od rodzaju stoiska.

Stoiska wykorzystujące metody wybuchowej [8] dla uzyskania obciążenia dynamicznego stosuje się w badaniach stojaków i podpór hydraulicznych bez zaworów lub wyposażonych w zawory bezpieczeństwa. Aktualnie prowadzone prace w tym zakresie mają charakter poznawczy. Wyznaczonych podanymi metodami charakterystyk dynamicznych nie można jednoznacznie porównać. Wynika to w głównej mierze z różnych sposobów obciążenia dynamicznego, który ma istotny wpływ na uzyskane wyniki tak co do wielkości, jak również przebiegu w czasie. Przyjęcie jednolitej metody badań dynamicznych wynikającej z występujących w górotworze zjawisk i ze sposobu pracy w pod-

ziemiach kopalń, umożliwi uzyskanie wyników porównywalnych oraz powiązanych z realiami górniczymi.

Analizę współpracy obudowy z górotworem dla przypadku drgań górotworu przedstawił Chudek [3]. Rozpatrzony sposób obciążenia obudowy wywołany jest przez górotwór, który zachował własności sprężyste.

Badania górotworu naruszonego podane przez Bilińskiego [1] przyjmują, że w głównej mierze zjawiska tąpań w wyrobiskach kopalnianych eksploatowanych metodami ścianowymi spowodowane są przemieszczeniami, pęknięciami lub obsunięciami bloków skalnych. Obudowa obciążona jest wstępnie statycznie przez strop składający się z odprężonych warstw skalnych. Oberwanie się bloków skalnych, powstanie pęknięć czy utrata nośności warstwy objawia się w postaci dodatkowego obciążenia dynamicznego. Obciążenia statyczne, jak również dynamiczne wywołane są przez bloki skał o ciężarach zbliżonych do podporności roboczych, przesunięcia wynikają z możliwości ruchu poszczególnych warstw czy bloków w górotworze. Przykładowy schemat obciążeń w wyrobisku ścianowym z podsadzką hydrauliczną przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowy schemat obciążenia obudowy w wyrobisku ze ścianą podsadzkową

Fig. 1. Example of support load in stowed heading

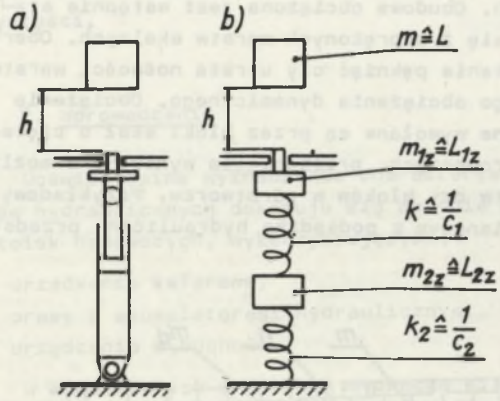
Uwzględniając współpracę obudowy z górotworem naruszonym przyjmujemy, że najbardziej zbliżony sposób obciążenia przy tąpnięciu lub zawale możemy uzyskać w stoisku kafarowym, w którym:

- ciężar bijaka przyjmujemy na poziomie podporności roboczej,
- wielkości energii udaru ustalimy wysokością swobodnego spadku.

Prawidłowość przyjętych założeń rozpatrzymy na przykładzie charakterystyk dla stojaka typ SHC-40Z PO wyznaczonych sposobem analitycznym [6]. Wielkościami wyliczanymi będą ciśnienie cieczy hydraulicznej, suw tłoka, czas narastania dla różnych ciężarów bijaka oraz mas dodatkowych.

3. Charakterystyki stojaka SHC-40Z PO przy obciążeniu udarem masy wyznaczone analitycznie

Na rysunku 2 przedstawiono poglądowo stoisko kafarowe oraz odpowiadający model o dwóch stopniach swobody, w którym przyjęto dyskretne rozłożenie masy i sprężystości. Stałe modelu wyliczono z relacji:



Rys. 2. Stoisko kafarowe oraz odpowiadający model

a) stoisko kafarowe, b) model o dwóch stopniach swobody i dyskretnym rozłożeniu masy i sprężystości

Fig. 2. Pile-driver and a respective model

a) pile-driver, b) model of two degrees of freedom and discrete distribution of load and elasticity

$$k_1 = \frac{E\,S_1}{l_1},\ Nm^{-1} \qquad m_{1z} = (0{,}4\ m_t + m_{dt} + m_d),\ kg$$

$$k_2 = \frac{B\,A_2}{l_{2z}},\ Nm^{-1} \qquad m_{2z} = (0{,}4\ m_h + m_{dł}),\ kg$$

gdzie:

A_2 - powierzchnia cylindra, m^2,

B - moduł ściśliwości cieczy hydraulicznej, Nm^{-2},

E - moduł sprężystości stali, Nm^{-2},

m_d - masa dodatkowa, kg,

m_{dt} - masa głowicy zaworowej oraz połowa masy, rury ciśnieniowej i sprężyny, kg,

$m_{dł}$ - masa tłoka oraz połowa masy rury ciśnieniowej i sprężyny, kg,

m_h - masa cieczy hydraulicznej, kg,

m_t - masa rdzennika (tłoczyska), kg,

l_1 - długość rdzennika, m,

l_{2z} - wysokość wypadkowa słupa cieczy, m.

Wyznaczone na podstawie modelu ciśnienie cieczy hydraulicznej oraz suw tłoka opisują odpowiednio relacje:

$$p(t) = P_w + \frac{m}{(m + m_{1z})m_{2z}} \frac{k_1 k_2}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)} \frac{V_o}{A_2}\left(\frac{1}{\omega_1} \sin\omega_1 t - \frac{1}{\omega_2} \sin\omega_2 t\right), \ Nm^{-2}$$

$$l(t) = V_o \frac{m}{m + m_{1z}} \frac{1}{\omega_2^2 - \omega_1^2}\left[\left(\frac{k_1+k_2}{m_{2z}\omega_1} - \omega_1\right)\sin\omega_1 t - \left(\frac{k_1+k_2}{m_{2z}\omega_2} - \omega_2\right)\sin\omega_2 t\right], m$$

gdzie:

g - przyspieszenie ziemskie, ms^{-2},

h - wysokość swobodnego spadku masy, m,

m - masa bijaka, kg,

P_w - ciśnienie wstępne, Nm^{-2},

$V_o = \sqrt{2hg}$ - prędkość masy w chwili zetknięcia ze stojakiem, ms^{-1}.

$$\omega_1 = \left\{\frac{k_1 + k_2}{2\, m_{2z}} - \left[\left(\frac{k_1 + k_2}{2\, m_{2z}}\right)^2 - \frac{k_1 k_2}{m_{2z}(m + m_{1z})}\right]^{\frac{1}{2}}\right\}^{\frac{1}{2}}, \ s^{-1}$$

$$\omega_2 = \left\{\frac{k_1 + k_2}{2\, m_{2z}} + \left[\left(\frac{k_1 + k_2}{2\, m_{2z}}\right)^2 - \frac{k_1 k_2}{m_{2z}(m + m_{1z})}\right]^{\frac{1}{2}}\right\}^{\frac{1}{2}}, \ s^{-1}$$

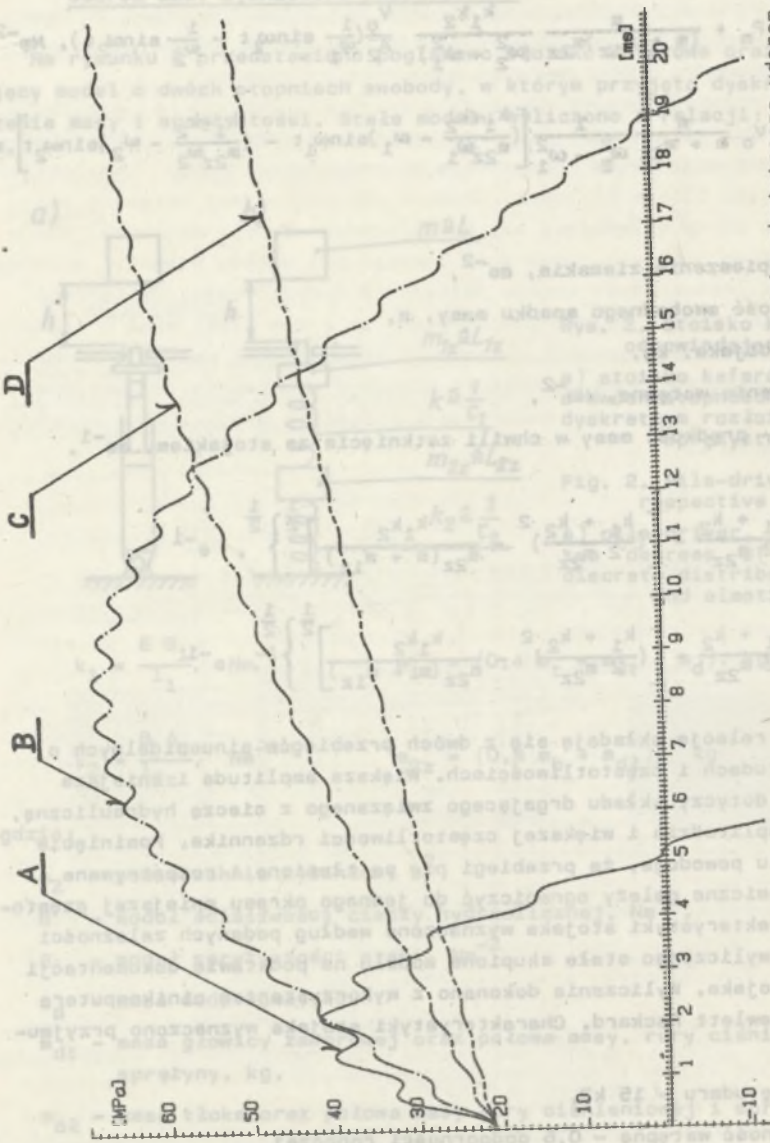
Wyznaczone relacje składają się z dwóch przebiegów sinusoidalnych o różnych amplitudach i częstotliwościach. Większa amplituda i mniejsza częstotliwość dotyczy układu drgającego związanego z cieczą hydrauliczną, o mniejszej amplitudzie i większej częstotliwości rdzennika. Pominięcie tarcia w modelu powoduje, że przebiegi nie są tłumione i rozpatrywane wielkości dynamiczne należy ograniczyć do jednego okresu mniejszej częstotliwości. Charakterystyki stojaka wyznaczono według podanych zależności analitycznych wyliczając stałe skupione modelu na podstawie dokumentacji technicznej stojaka. Wyliczenia dokonano z wykorzystaniem minikomputera typ HP-85 f. Hewlett Packard. Charakterystyki stojaka wyznaczono przyjmując:

E_u - energię udaru - 15 kJ,

P_w - podporność wstępną - 0,6 podporności roboczej,

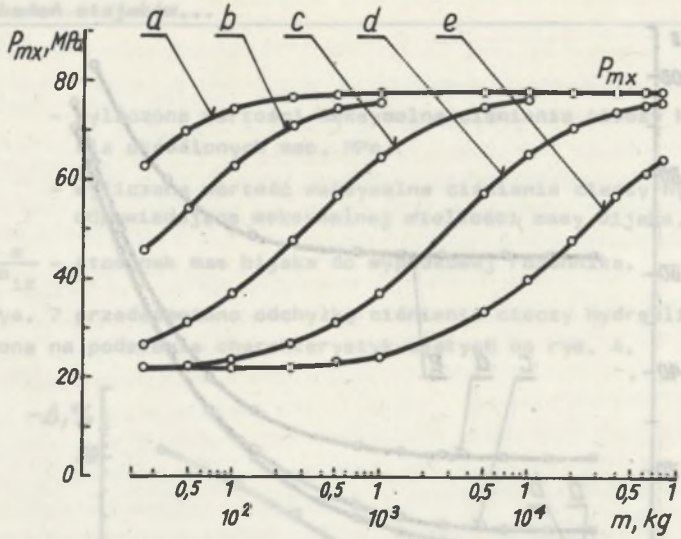
l_2 - pełny wysuw rdzennika,

m_d - dodatkowe masy związane ze stojakiem (0, 50, 500, $5 \cdot 10^3$, $4 \cdot 10^4$, kg).



Rys. 3. Wyliczony przebieg ciśnienia cieczy hydraulicznej w funkcji czasu stojaka obciążonego udarem masy (E_u = 15 kNm, P_{wst} = 0,6 P_{rob}, l_2 = l_{max}) masa bijaka (m)
A - 25 kg, B - 1000 kg, C - 5000 kg, D - 40.000 kg

Fig. 3. Calculated changes in hydraulic liquid pressure in time function of prop loaded by a mass stroke (E_u = 15 kNm, $P_{initial}$ = 0,6 $P_{operational}$, l_2 = l_{max}) additional mass (m)
A - 25 kg, B - 1000 kg, C - 5000 kg, D - 40.000 kg

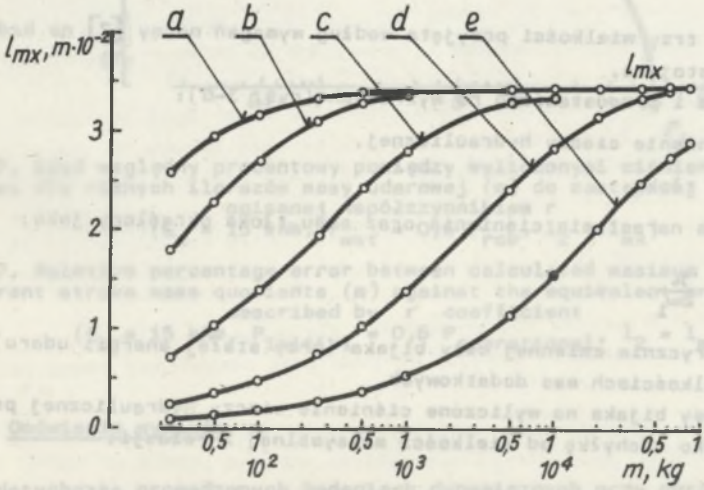


Rys. 4. Wyliczone maksymalne ciśnienie cieczy hydraulicznej stojaka dla różnych mas udarowych (E_u = 15 kNm, P_{wst} = 0,6 P_{rob}, l_2 = l_{mx}); masa dodatkowa (m_d):

a - 0, b - 50 kg, c - 500 kg, d - 5000 kg, e - 40.000 kg

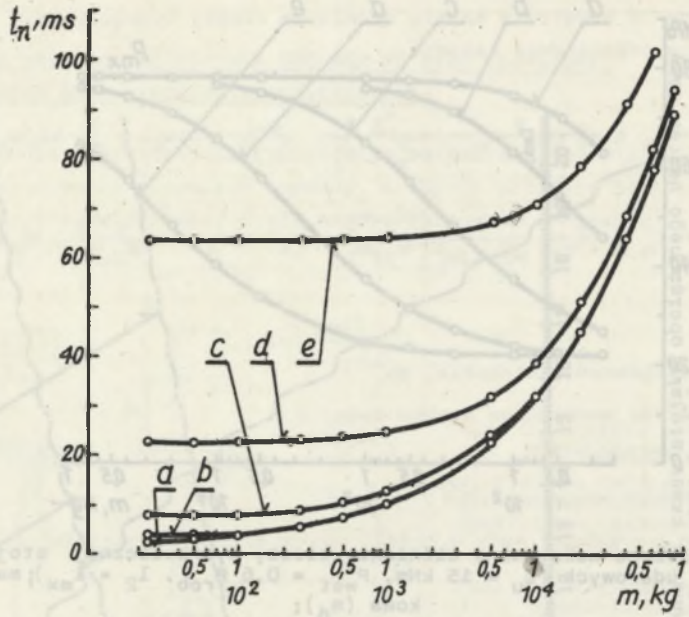
Fig. 4. Calculated maximum pressure of hydraulic liquid in prop for different stroke masses (E_u = 15 kNm, $P_{initial}$ = 0,6 $P_{operational}$, l_2 = l_{mx}); additional mass (m_d):

a - 0, b - 50 kg, c - 500 kg, d - 5000 kg, e - 40.000 kg



Rys. 5. Wyliczony maksymalny suw tłoka stojaka hydraulicznego dla różnych mas udarowych (E_u = 15 kNm, P_{wst} = 0,6 P_{rob}, l_2 = l_{mx})

Fig. 5. Calculated maximum piston stroke of hydraulic prop for different stroke masses (E_u = 15 kNm, $P_{initial}$ = 0,6 $P_{operational}$, l_2 = l_{mx})



Rys. 6. Wyliczony czas narastania ciśnienia dla różnych mas udarowych (E_u = 15 kNm, P_{wst} = 0,6 P_{rob}, l_2 = l_{mx})

Fig. 6. Calculated time of pressure increase for different stroke mass (E_u = 15 kNm, $P_{initial}$ = 0,6 $P_{operational}$, l_2 = l_{mx})

Pierwsze trzy wielkości przyjęto według wymagań normy [7] na badania dynamiczne stojaka.

Wyliczono i przedstawiono na wykresach (rys. 3-6):

P - ciśnienie cieczy hydraulicznej,

l_2 - suw tłoka,

t_n - czas narastania ciśnienia oraz suwu tłoka określony jako:

$$T/4 = \frac{\pi}{2\omega_1}, \quad s$$

dla parametrycznie zmiennej masy bijaka (przy stałej energii udaru) oraz różnych wielkościach mas dodatkowych.

Wpływ masy bijaka na wyliczone ciśnienie cieczy hydraulicznej przedstawiono jako odchyłkę od wielkości maksymalnej z relacji:

$$\Delta(r) = \frac{P - P_{max}}{P_{max}} \; 100\%$$

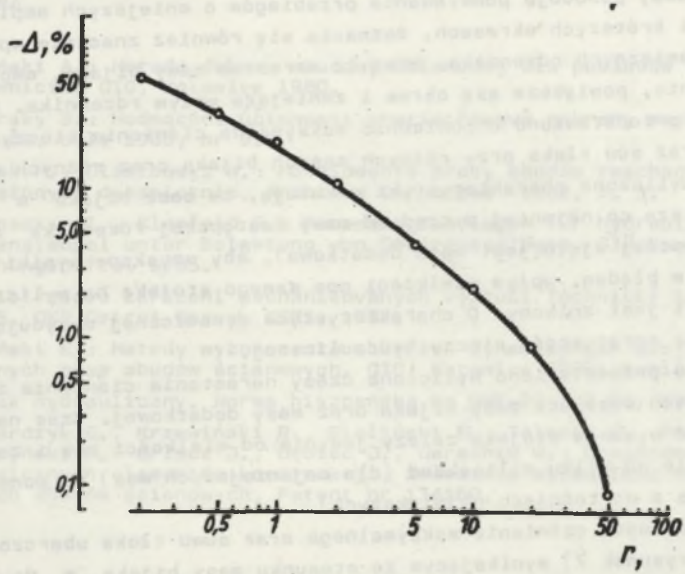
gdzie:

P - wyliczone wartości maksymalne ciśnienia cieczy hydraulicznej dla określonych mas, MPa,

P_{mx} - wyliczona wartość maksymalna ciśnienia cieczy hydraulicznej odpowiadająca maksymalnej wielkości masy bijaka, MPa,

$r = \frac{m}{m_{1z}}$ - stosunek mas bijaka do wypadkowej rdzennika.

Na rys. 7 przedstawiono odchyłkę ciśnienia cieczy hydraulicznej $\Delta(r)$ wyznaczoną na podstawie charakterystyk ujętych na rys. 4.



Rys. 7. Błąd względny procentowy pomiędzy wyliczonymi ciśnieniami maksymalnymi dla różnych ilorazów masy udarowej (m) do zastępczej rdzennika (m_{1z}) opisanej współczynnikiem r
(E_u = 15 kNm, P_{wst} = 0,6 P_{rob}, l_2 = l_{mx})

Fig. 7. Relative percentage error between calculated masimum pressure for different stroke mass quotients (m) against the equivalent one (m_{1z}), described by r coefficient
(E_u = 15 kNm, $P_{initial}$ = 0,6 $P_{operational}$, l_2 = l_{mx})

4. Omówienie wyników

W dotychczas prowadzonych badaniach dynamicznych przy obciążeniu udarowym przyjmowano stałą masę regulując energię udaru wysokością jej swobodnego spadku. Ciężary mas udarowych stosowano znacznie mniejsze od podporności badanych stojaków, podpór czy obudów. Powodowało to, że uzyskiwano niedostateczną zgodność warunków badań z warunkami pracy, co nie pozostawało bez wpływu na otrzymane charakterystyki dynamiczne, a w konsekwencji

możliwości ich praktycznego wykorzystania. Uwzględniając zasady współpracy z górotworem naruszonym przyjmujemy obciążenie statyczne dla normalnych warunków pracy, na które zostaje nałożony udar masy dla przypadku tąpnięcia. Wpływ masy udarowej oraz statycznej na charakterystyki dynamiczne przedstawiono na przykładnie stojaka SHC, przyjmując stałą energię udaru, podporność wstępną oraz wysuw.

Na rysunku 3 przedstawiono przebiegi ciśnienia cieczy hydraulicznej stojaka wyznaczone analitycznie dla różnych wielkości mas udarowych. Otrzymane przebiegi różnią się pomiędzy sobą co do amplitudy, jak również okresu. Małe masy powodują powstawanie przebiegów o mniejszych amplitudach ciśnień i krótszych okresach, zaznacza się również znacznie wpływ własności dynamicznych rdzennika. Wraz ze wzrostem masy bijaka, amplituda ciśnienia rośnie, powiększa się okres i zmniejsza wpływ rdzennika. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono odpowiednio maksymalne ciśnienie cieczy hydraulicznej oraz suw tłoka przy różnych masach bijaka oraz różnych masach dodatkowych. Wyliczone charakterystyki wskazują, że masa bijaka m powinna być większa co najmniej o rząd od masy zastępczej rdzennika m_{1z} (w masie zastępczej ujęta jest masa dodatkowa), aby uzyskane wyniki były obarczone małym błędem. Wpływ wielkości mas samego stojaka na wyliczone charakterystyki jest znikomy. O charakterystyce dynamicznej decydują masy zewnętrzne oraz sprężystość cieczy hydraulicznej.

Na rysunku 6 przedstawiono wyliczone czasy narastania ciśnienia i suwu tłoka dla różnych wartości masy bijaka oraz masy dodatkowej. Czas narastania przy stałym wysuwie stojaka zależy jedynie od wielkości mas i zawiera się w przedziale od kilku milisekund (dla najmniejszych mas) do ponad 100 ms (dla mas o wartościach największych).

Wyliczone wartości ciśnienia maksymalnego oraz suwu tłoka obarczone są błędem (patrz rysunek 7) wynikającym ze stosunku masy bijaka m do masy zredukowanej rdzennika m_{1z}. Błąd zależy od ilorazu wymienionych mas, przekracza - 50% dla mas bijaka znacznie mniejszych od mas zredukowanych rdzennika i maleje wraz ze wzrostem masy bijaka. Celem zminimalizowania błędu należy stosować bijak o ciężarze możliwie największym, nie większym jednak od podporności roboczej.

Badanie dynamiczne powinny być prowadzone dla warunków najbardziej niekorzystnych, a zatem należy przyjąć wartość masy dodatkowej równą zero.

5. Wnioski

Wyliczone charakterystyki oraz wyznaczone błędy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

a) przyjęcie obciążenia udarem masy jest zgodne z oceną oddziaływania na obudowę górotworu naruszonego w przypadku tąpnięcia,

b) wyznaczanie charakterystyk dynamicznych przy obciążeniu udarem masy należy prowadzić z zastosowaniem bijaka o ciężarze zbliżonym do podporności roboczej, wysokość swobodnego spadku masy należy przyjąć odpowiednio do żądanej energii udaru,

c) decydujący wpływ na charakterystyki dynamiczne mają masy bijaka, masa dodatkowa oraz sprężystość cieczy hydraulicznej. Wpływ własności dynamicznych rdzennika dla przyjętych warunków badań jest niewielki i może zostać pominięty.

LITERATURA

[1] Biliński A.: Metoda doboru obudowy ścianowej dla pokładów tąpiących, Wydawnictwo GIG, Katowice 1980.

[2] Budirský S.: Hodnocení účinnosti protiotřesové ochrany mechanizovaných výztuží, Uhlí 1985, nr 9.

[3] Chudek M., Olaszowski W.: Modelowanie pracy obudów zmechanizowanych obciążonych dynamicznie, Archiwum Górnictwa 1982, z. 3.

[4] Krumnacker I., Kleefeld R.: Bemessungrundlagen für hydraulische Grubenstempel unter Belastung von Gebirgsschlägen, Glückauf - Forchungshefte, 5/85.

[5] Protiotřesové zařízení mechanizovaných výztuží Technická informace nr 25, OKR Ostroj Opava, CSRS, 1982.

[6] Stoiński K.: Metody wyznaczania obciążeń dynamicznych stojaków hydraulicznych oraz obudów ścianowych. GIG, Katowice 1985, seria dodatkowa.

[7] Stojak hydrauliczny. Norma hiszpańska nr UNE-22-7/0,84, 1984.

[8] Włodarczyk E., Krzewiński R., Zieliński M., Telczak W., Trzaska S., Skoczyński W. Orlacz J., Dębiec J., Warachim W.: Urządzenie do badań dynamicznych elementów konstrukcji, zwłaszcza siłowników zmechanizowanych obudów ścianowych, Patent nr 134160.

Recenzent: Prof. dr inż. Włodzimierz Sikora

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

Р е з ю м е

Горный массив нарушенный горными работами воздействует статически весом пород кровли на крепь, а также динамически в ходе напр. горного удара. Принятие горного удара как сдвижение блоков породы или потери несущей способности слоев вызывает, что динамическая нагрузка характеризуется ударом массы. Принимая во внимание большое количество массы подвергающейся горным ударам и небольшие их вертикальные сдвижения предложено метод исследований приспособленный к действительным условиям работы.

Предложенный метод - это метод свойного копера, соответственной усовершенствованный.

Усовершенствование заключается в примении массы ударника весом сближенным к рабочему сопротивлению крепи свободногоспускаемого из высоты получаемой в результате ожидаемой энергии удара или горного удара. Сущность принятого метод показано на примере верхняка SHC-40Z PO. Влияние массы на характеристику верхняка представлено аналитически с помощью математической модели двуступенчатой свободы и соответственного подразделения массы и упругости.

WEIGHT IMPACT METHOD OF HYDRAULIC PROPS TESTING

S u m m a r y

Rock mass disturbed by mining reacts statically on a lining with weight of roof rocks and dynamically, e.g. during crump. Treating the crump as a movement of the rock blocks or as a strata's load capacity loss causes that dynamic load is of the weight impact character.

Taking into consideration the huge masses taking part in the crump and their small vertical movements, a testing method adapted to the real conditions of work has been suggested.

The method suggested is a pile-driber one, suitable modified. The modification consists in using the pile-driver mass of the weight close to working support capacity, freely dropped from the height resulting from the expected energy of the impact or crump.

Grounds of the accepted method have been presented by the example of the SHC-40Z PO prop. The influence of weight on the prop characteristics has been shown analytically assuming mathematical archetype with two degrees of freedom and discrete distribution of weight and elasticity.