

Marek JASZCZUK, Józef MARKOWICZ, Arkadiusz PAWLIKOWSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

MODELOWANIE DYNAMICZNEGO ODDZIAŁYWANIA GÓROTWORU NA SEKCJĘ OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ Z WYKORZYSTANIEM ZASADY KINETOSTATYKI

Streszczenie. W pracy przedstawiono uproszczoną metodę wyznaczania przebiegu czasowego obciążenia dynamicznego sekcji obudowy zmechanizowanej z wykorzystaniem zasady kinetostatyki. Analizę przeprowadzono dla płaskiego modelu sekcji obudowy zmechanizowanej przy założeniu idealnej sztywności elementów sekcji. Dla przyjętych przebiegów czasowych wybranych sił wewnętrznych w sekcji i związanej z nimi zmiany długości stojaków i podpory stropnicy, występujących w trakcie obciążenia dynamicznego, wyznaczano składowe wektora obciążenia działającego na zespół stropnica-ostona.

MODELLING OF THE DYNAMIC ACTION OF ROCK MASS ON A POWERED ROOF SUPPORT UNIT WHEN EMPLOYING PRINCIPLES OF THE DYNAMIC FORCE ANALYSIS

Summary. A simplified method for determining of time related course of the dynamic load of a powered roof support unit, when employing principles of the dynamic force analysis, has been presented in the paper. The analysis was carried out for a planar model of a powered roof support unit on the assumption that the rigidity of elements of the support unit is ideal. Components of a vector of the load acting on the assembly: canopy – shield were determined for the assumed time – related courses of the selected internal forces occurring in a support unit and for the associated changes in the length of legs and of the canopy capsule taking place during action of the dynamic load.

1. Wprowadzenie

Źródłem informacji dotyczących obciążenia dynamicznego sekcji obudowy zmechanizowanej mogą być uszkodzenia elementów sekcji powstałe na skutek oddziaływania górotworu albo przebiegi czasowe wybranych parametrów charakteryzujących obciążenie

wewnętrzne sekcji uzyskane w trakcie pomiarów dołowych. Wyznaczenie charakterystyki dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcję obudowy zmechanizowanej wymaga jednak przeprowadzenia pomiaru wybranych sił wewnętrznych w sekcji. Takie podejście, polegające na określeniu parametrów wymuszenia obciążenia układu mechanicznego poprzez pomiar sił wewnętrznych, pociąga za sobą konieczność opracowania modelu sekcji obudowy zmechanizowanej i określenia przebiegów czasowych obciążenia dynamicznego na podstawie analizy wyników symulacji przeprowadzonej przy wykorzystaniu modelu i zarejestrowanych przebiegów czasowych wielkości mierzonych w wyrobisku.

Z dotychczasowych badań [3] wynika, że obciążenie dynamiczne sekcji obudowy zmechanizowanej charakteryzują częstości zmian o wartościach mniejszych od pierwszej częstości własnej sekcji obudowy zmechanizowanej. Oznacza to, że analizę obciążenia dynamicznego sekcji obudowy zmechanizowanej można prowadzić, wykorzystując model sekcji w postaci płaskiego układu mechanicznego złożonego z ciał idealnie sztywnych o parametrach skupionych. Taki charakter przebiegu obciążenia dynamicznego upoważnia, po zastosowaniu zasady kinetostatyki, do całkowania równań różniczkowych ruchu sekcji metodą krok po kroku.

Poniżej przedstawiono metodę wyznaczania obciążenia dynamicznego działającego na zespół stropnica-osłona sekcji obudowy zmechanizowanej na podstawie pomiaru wybranych wielkości fizycznych charakteryzujących obciążenie sekcji.

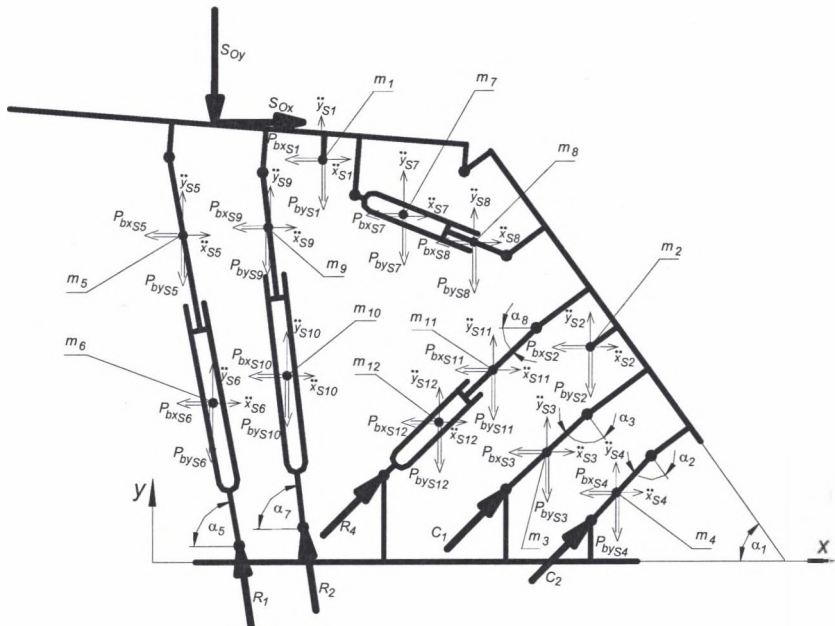
2. Model matematyczny sekcji obciążonej dynamicznym oddziaływaniem górotworu

Metoda wyznaczania przebiegów czasowych parametrów charakteryzujących wektor obciążenia dynamicznego sekcji polega na zastosowaniu zasady kinetostatyki. W zależności od przyjętych założeń upraszczających dotyczących położenia prostej działania wektora obciążenia dynamicznego sekcji można rozpatrywać model płaski, bądź przestrzenny sekcji.

Z analizy równowagi sekcji przy obciążeniu statycznym wynika, że wyznaczenie położenia prostej działania wektora obciążenia sekcji jest obarczone znacznie większym błędem w porównaniu z błędem wyznaczenia współrzędnych tego wektora [1]. Biorąc powyższe pod uwagę, przyjęto model fizyczny sekcji w postaci modelu płaskiego o masach skupionych (rys.1), a analizę modelu sekcji obudowy zmechanizowanej poddanej

dynamicznemu oddziaływaniu górotworu ograniczono do wyznaczenia wartości składowych S_{Ox} i S_{Oy} wektora obciążenia dynamicznego sekcji.

Na rys.1 przedstawiono również układ sił biernych i sił bezwładności, działających na zespół stropnica-osłona.



Rys. 1. Schemat obciążenia zespołu stropnica – osłona
Fig. 1. Diagram of the load of the assembly: canopy – shield

Wyznaczenie przebiegów czasowych wektorów S_{Ox} i S_{Oy} wymaga określenia funkcji opisujących:

- przebiegi czasowe sił biernych działających na zespół stropnica-osłona – sił w stojakach i w łącznikach lemniskatowych,
- przebiegi czasowe wartości kątów $\alpha_1(t), \dots, \alpha_8(t)$ charakteryzujących położenie elementów sekcji,
- składowe wektorów przyspieszenia środków masy poszczególnych elementów sekcji.

W odróżnieniu od dotychczasowego podejścia, prezentowanego na przykład w pracy [2], obciążenie dynamiczne zespołu stropnica-osłona potraktowano jako wektor działający w płaszczyźnie prostopadłej do czoła ściany i spągu. W ogólnym przypadku wektor ten nie jest prostopadły do płaszczyzny stropnicy.

Po zastosowaniu zasady d'Alemberta i metody przecięć otrzymano równania ruchu zespołu stropnica - osłona odzawalowa w następującej postaci:

$$\begin{aligned} \sum P_{ix}(t) = & +S_{Ox}(t) - R_1(t) \cos \alpha_5(t) - R_2(t) \cos \alpha_7(t) - C_1(t) \cos[\alpha_1(t) + \alpha_3(t)] + \\ & - C_2 \cos[\alpha_1(t) + \alpha_2(t)] + R_4(t) \cos \alpha_8(t) - \sum_{i=1}^{n=12} [m_i \ddot{x}_{Si}(t)] = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum P_{iy}(t) = & -S_{Oy}(t) + R_1(t) \sin \alpha_5(t) + R_2(t) \sin \alpha_7(t) + C_1(t) \sin[\alpha_1(t) + \alpha_3(t)] + \\ & + C_2(t) \sin[\alpha_1(t) + \alpha_2(t)] + R_4(t) \sin \alpha_8(t) - \sum_{i=1}^{n=12} [m_i \ddot{y}_{Si}(t)] = 0 \end{aligned}$$

Układ wewnętrznych sił biernych działających na stropnicę i osłonę oraz sił bezwładności obejmuje następujące siły:

- $R_1(t)$ – wypadkowa siła przedniego szeregu stojaków sekcji obudowy,
- $R_2(t)$ – wypadkowa siła tylnego szeregu stojaków sekcji obudowy,
- $R_4(t)$ – wypadkowa siła stojaków rozpartych między spągnicą a osłoną,
- $C_1(t)$ – wypadkowa siła przednich łączników lemniskatowych,
- $C_2(t)$ – wypadkowa siła tylnych łączników lemniskatowych,
- $m_i \ddot{x}_{Si}$ – składowa pozioma sił bezwładności poszczególnych elementów sekcji,
- $m_i \ddot{y}_{Si}$ – składowa pionowa sił bezwładności poszczególnych elementów sekcji,

gdzie: m_i – masa poszczególnych elementów sekcji; $i = 1, \dots, 12$

\ddot{x}_{Si} , \ddot{y}_{Si} – składowe przyspieszenia środka masy elementu sekcji; $i = 1, \dots, 12$.

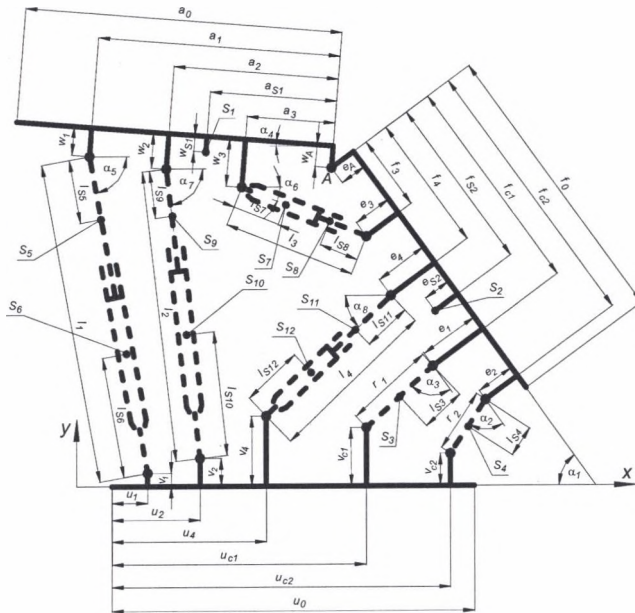
Przebiegi czasowe sił w stojakach i łącznikach lemniskatowych oraz przebiegi czasowe dwóch parametrów wyznaczających zmianę geometrii sekcji określa się na podstawie wyników pomiarów wykonanych w wyrobisku.

W celu wyznaczenia składowych przyspieszenia środków mas poszczególnych elementów sekcji należy określić przebiegi czasowe kątów $\alpha_1(t), \dots, \alpha_8(t)$, a także wyznaczyć położenia poszczególnych środków ciężkości elementów sekcji w kolejnych chwilach czasu.

W tym celu przeanalizowano „uogólniony” model sekcji obudowy zmechanizowanej (rys.2), uwzględniający wymiary geometryczne zależne od wysokości pracy sekcji i kąta pochylenia stropnicy oraz wymiary geometryczne stałe – niezależne od wysokości sekcji.

Wielkościami stałymi zależnymi od postaci konstrukcyjnej sekcji obudowy zmechanizowanej są następujące wymiary poszczególnych elementów sekcji (rys.2):

- spągnicy – $u_1, u_2, u_4, u_{c1}, u_{c2}, u_0, v_1, v_2, v_4, v_{c1}, v_{c2}$,
- osłony odzawałowej – $e_A, e_3, e_4, e_1, e_2, f_3, f_4, f_{c1}, f_{c2}$,
- stropnicy – $a_3, a_2, a_1, a_0, w_A, w_3, w_2, w_1$,
- łączników lemniskatowych – r_1, r_2 ,



Rys. 2. „Uogólniony” schemat kinematyczny sekcji

Fig. 2. „Generalized” kinematic diagram of a support unit

Wielkościami geometrycznymi zmieniającymi się w trakcie pracy sekcji są:

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

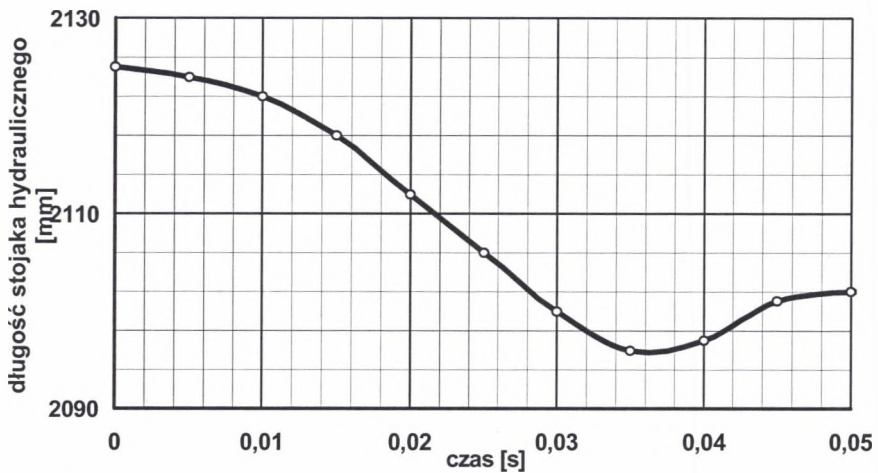
Dodatkowo na rys. 2 zaznaczono, wymiary geometryczne wyznaczające położenie środków ciężkości poszczególnych elementów sekcji:

- stropnicy – a_{S1}, w_{S1} ,
- osłony odzawałowej – e_{S2}, f_{S2} ,
- w przypadku stojaków:
 - rdzenników – l_{S5}, l_{S9}, l_{S11} ,
 - cylindrów – l_{S6}, l_{S10}, l_{S12} ,
- łączników lemniskatowych – l_{S3}, l_{S4} ,
- w podporze stropnicy:
 - rdzennika – l_{S8} ,
 - cylindra – l_{S7} ,

Zależności geometryczne umożliwiają wyznaczenie dyskretyzowanych wartości współrzędnych środków masy poszczególnych elementów sekcji. Dwukrotne ich zróżniczkowanie umożliwia wyznaczenie funkcji opisujących składowe przyspieszenia środków masy poszczególnych elementów sekcji.

3. Wyznaczenie przebiegu obciążenia dynamicznego zespołu stropnica-osłona odzawałowa

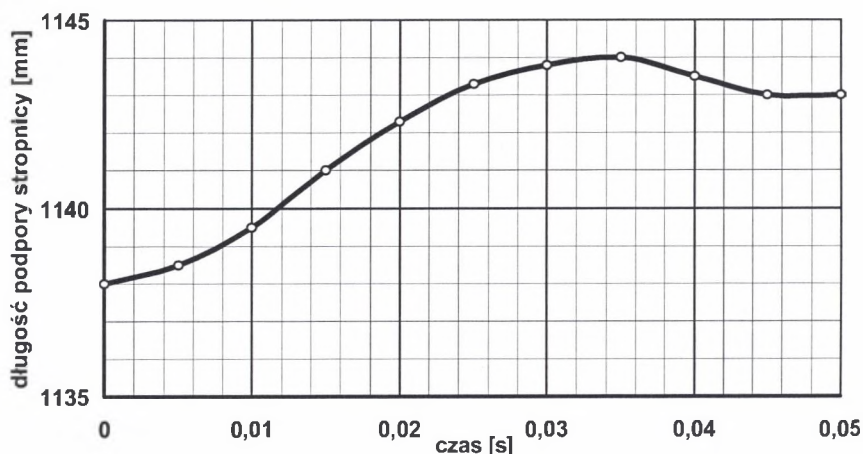
Przykładowe obliczenia wykonano dla sekcji obudowy zmechanizowanej typu Glinik 15/32-POz dla wysokości pracy sekcji 2,4m. W wyniku pomiarów określono przebiegi czasowe sił w stojakach, sił w łącznikach oraz długości stojaków i podpory stropnicy. Wartości wyżej wymienionych wielkości określono przy kroku czasowym $\Delta t = 0,005s$. Dyskretyzowane wartości wielkości mierzonych przedstawiono w postaci wykresów (rys. 3÷5).



Rys. 3. Przebieg czasowy zmiany długości stojaka hydraulicznego
Fig. 3. Time - related course of a change in the length of a hydraulic leg

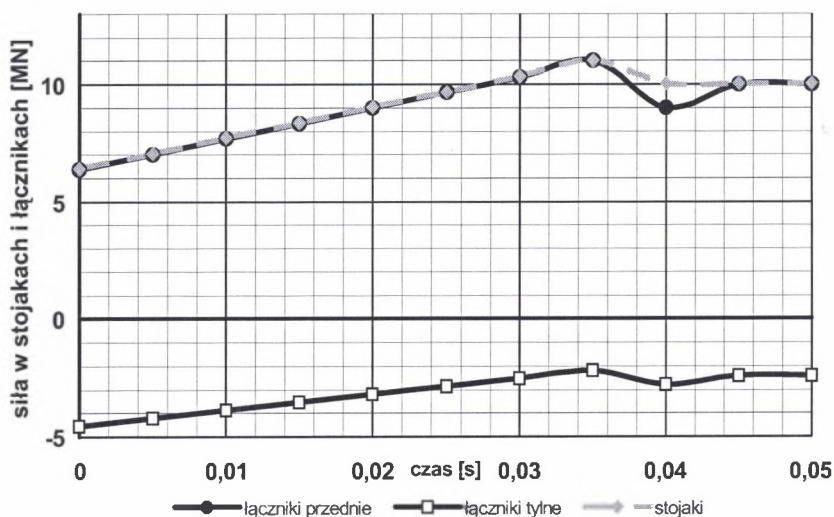
Na podstawie zależności pomiędzy wielkościami liniowymi oraz kątowymi charakteryzującymi geometrię sekcji obudowy wyznaczono współrzędne środków ciężkości poszczególnych elementów sekcji. W celu wyznaczenia składowych przyspieszenia środków ciężkości poszczególnych elementów sekcji dwukrotnie zróżniczkowano funkcje dyskretne opisujące współrzędne środków ciężkości tych elementów, stosując metodę siecznych.

Dla uzyskanych w wyniku pomiarów wartości sił wewnętrznych oraz wymiarów liniowych charakteryzujących geometrię sekcji i odpowiadających im wartości kątów $\alpha_1(t), \dots, \alpha_8(t)$ wyznaczono przyspieszenia środków masy poszczególnych elementów sekcji, a także wartości składowej poziomej S_{Ox} i składowej pionowej S_{Oy} , dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcję w kolejnych chwilach czasowych (rys.6).



Rys. 4. Przebieg czasowy zmiany długości podpory stropnicy

Fig. 4. Time – related course of a change in the length of a canopy capsule

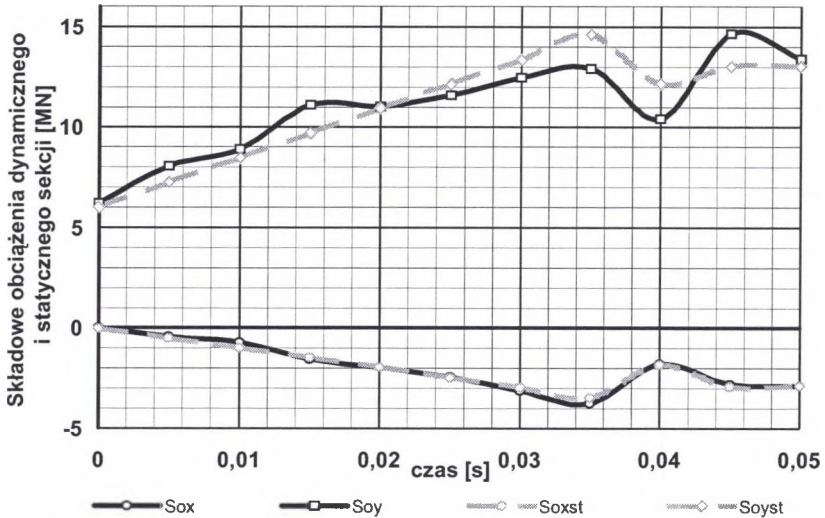


Rys. 5. Przebieg czasowy wypadkowej sił podłużnych w stojakach i sił w łącznikach lemniskatowych

Fig. 5. Time – related course of the resultant longitudinal force in legs and of forces in lemniscate linkages

Celem oszacowania wpływu sił bezwładności na wartość składowych obciążenia dynamicznego sekcji wyznaczono także wartości tych składowych z pominięciem sił bezwładności. Są one równe quasi-statycznemu obciążeniu zewnętrznemu zespołu stropnica-osłona $S_{O_{xst}}$ i $S_{O_{yst}}$. Z porównania wartości składowych poziomych S_{O_x} i $S_{O_{xst}}$ w kolejnych chwilach czasowych wynika, że siły bezwładności nie mają istotnego wpływu na wartość składowej poziomej wektora dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcję.

W przypadku składowej pionowej tego wektora pominięcie sił bezwładności w obliczeniach, a więc potraktowanie obciążenia zewnętrznego jako obciążenia quasi-statycznego powoduje błąd obliczeniowy wynoszący co najwyżej 17%.



Rys. 6. Przebieg czasowy składowych obciążenia zewnętrznego sekcji

Fig. 6. Time – related course of components of the external load of a support unit

Przedstawione porównanie przebiegu czasowego wektora obciążenia zewnętrznego sekcji, traktowanego jako obciążenie quasi-statyczne bądź dynamiczne, dotyczy wyłącznie przykładu obliczeniowego omówionego w niniejszym artykule. Należy jednak podkreślić, że zmiany wartości siły w stojakach i przemieszczenia stropnicy charakteryzujące omawiane przykładowe obciążenie dynamiczne, są intensywniejsze od zmian tych parametrów wynikających z wymagań normatywnych.

4. Podsumowanie

Przedstawiona metoda wyznaczania dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcję obudowy zmechanizowanej umożliwia wyznaczenie przebiegów czasowych składowej pionowej i poziomej tego obciążenia działającego na zespół stropnica-osłona odzawałowa.

Wykonane obliczenia wykazały, że w większości przypadków obciążenia dynamicznego sekcji, składowa pozioma wektora obciążenia zewnętrznego sekcji ma charakter quasi-statyczny. Tak więc analizę obciążenia dynamicznego sekcji obudowy zmechanizowanej można ograniczyć do rozpatrywania tylko składowej pionowej obciążenia dynamicznego.

LITERATURA

0. Markowicz J., Ober G., Szweda S.: Ocena dokładności wyznaczania obciążenia stropnicy i osłony sekcji obudowy zmechanizowanej na podstawie wyników pomiarów dołowych. Szkoła Mechanizacji i Automatykacji Górnictwa, Wisła, kwiecień 2004.
1. Szweda S.: Loadings of legs in sections of mechanised supports by dynamic movements of roof and floor. Archives of Mining Sciences Vol.46 nr 3. 2001.
2. Szweda S.: Dinamicheskoe vozdejstvie gornogo massiva na stojki mekhanizirovannykh krepj. Fiziko-tekhniczesie problemy poleznykh iskopaemykh. Izdatel'stvo Sibirskogo Otdelenija RAN, Novosibirsk nr 2. 2003.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sikora

Abstract

Parameters characterizing the dynamic action of rock mass on a powered roof support unit can be determined by measuring of internal forces occurring in the support unit. For this purpose, it is necessary to develop a model of a support unit and to record time – related courses of quantities measured in situ. When taking the papers dealing with this problem and published so far into consideration, it has been found that it is possible to analyze the dynamic load of a support unit using a planar model of a support unit composed of bodies characterized by ideal rigidity and with concentrated parameters. After employing the d'Alambert's principle and the method of sections, equations of motion of the assembly: canopy – gob shield were obtained.

The determination of parameters which characterize the dynamic action of rock mass on a support unit needs determining of time – related courses of forces in legs and in lemniscate linkages, determining of angles characterizing the position of elements of a support unit one to another as well as of vectors of acceleration of centers of mass of particular elements of the support unit. Digitized values of coordinates of centers of mass of elements of the support unit were determined on the basis of geometric relationships. Twofold differentiation of these values allowed functions describing the acceleration of centers of mass of particular elements of the support unit to be determined.

Exemplary calculations were made for a support unit of the Glinik 15/ 32 – POz powered roof support. It has been stated that during dynamic action of rock mass on a powered roof support unit forces of inertia do not have any essential effect on a value of a horizontal component of the resultant vector of the load of a support unit. Thus, it is possible to confine the analysis of the dynamic load acting on a powered roof support unit to investigation of a vertical component of this load only.