

Stanisław SZWEDA  
Politechnika Śląska, Gliwice

## SYMULACJA KOMPUTEROWA DYNAMICZNEGO ODDZIAŁYWANIA SPĄGU NA SEKCJĘ OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono model sekcji obudowy zmechanizowanej poddanej dynamicznemu oddziaływaniu górotworu od strony spągu. Omówiono sposób identyfikacji parametrów modelu. Przedstawiono wyniki symulacji komputerowej jednego z przypadków obciążenia sekcji obudowy zmechanizowanej zarejestrowanego w wyrobisku.

## COMPUTER SIMULATION OF THE DYNAMIC ACTION OF THE FLOOR ON A POWERED ROOF SUPPORT UNIT

**Summary.** The model of a powered roof support unit exposed to dynamic action of the rock body coming from the floor has been discussed in the paper. A method for identifying parameters of the model has been presented. Comparison of results of the computer simulation of a case of a dynamic load of a shield support unit, and measurement results recorded in an underground working have been presented.

### 1. Wprowadzenie

Spśród wielu rodzajów dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcję obudowy zmechanizowanej, wyróżnionych na podstawie wieloletnich obserwacji, szczególnie duży przyrost siły w stojakach oraz duże tempo przyrostu tej siły, charakteryzują dynamiczne oddziaływanie górotworu od spągu [1]. Przypadki dynamicznego oddziaływania górotworu od spągu były, jak dotąd, przedmiotem niewielu prac badawczych [2, 3].

Wyniki pomiarów wykonanych w wyrobiskach ścianowych umożliwiły identyfikację parametrów modelu sekcji obudowy zmechanizowanej poddanej dynamicznemu oddziaływaniu od spągu [4]. Model ten można wykorzystać zarówno do wyznaczenia

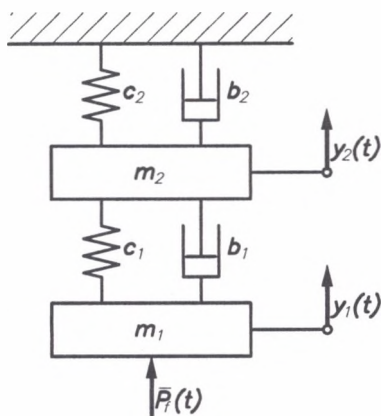
parametrów obciążenia dynamicznego traktowanego jako funkcja losowa, jak również do symulacji komputerowej działania obciążenia dynamicznego o dowolnym zadanym przebiegu czasowym, na sekcję obudowy zmechanizowanej.

Poniżej, oprócz parametrów modelu sekcji poddanej dynamicznemu oddziaływaniu od spągu, przedstawiono przykład symulacji komputerowej wybranego przypadku obciążenia dynamicznego zarejestrowanego w wyrobisku.

## **2. Model sekcji obudowy zmechanizowanej poddanej dynamicznemu oddziaływaniu od spągu**

Analizując dynamiczne oddziaływanie górotworu na sekcję obudowy zmechanizowanej od strony spągu przyjęto, że zjawisko dynamiczne wywołujące obciążenie dynamiczne sekcji występuje w warstwie tworzącej spąg wyrobiska. Z badań W. Szuścika wynika na przykład, że eksplozyjne tąpnięcie spodkowe może wystąpić w warstwie węgla o grubości 0,5 m tworzącej spodek wyrobiska [1]. Obciążenie dynamiczne przyłożone do spągnicy sekcji oddziałuje na górotwór naruszony tworzący strop wyrobiska powodując ruch bryły stropowej znajdującej się nad sekcją. Tak więc, w rozpatrywanym przypadku dynamicznego oddziaływania górotworu na sekcję, wymuszenie działające od strony spągu, powoduje przemieszczenie bryły stropowej, natomiast zakłada się, że warstwa górotworu nienaruszonego pozostaje nieruchoma. W związku z powyższym ruch elementów rozpatrywanego modelu fizycznego sekcji określony jest względem górotworu nienaruszonego zalegającego nad wyrobiskiem.

Model fizyczny sekcji obudowy zmechanizowanej poddanej dynamicznemu oddziaływaniu górotworu od spągu przedstawiono na rys. 1. O wyborze modelu fizycznego o dwóch stopniach swobody zdecydowano korzystając z wyników analizy modeli funkcjonalnych układu górotwór–sekcja obudowy zmechanizowanej, omówionych szczegółowo w pracy [5].



Rys. 1. Model fizyczny sekcji obudowy zmechanizowanej poddanej dynamicznemu oddziaływaniu górotworu od strony spągu

Fig. 1. Physical model of a powered roof support unit subjected to dynamic action of the rock body coming from the floor

W modelu przedstawionym na rys. 1 właściwości sekcji obudowy zmechanizowanej charakteryzują:

- masa skupiona  $m_1$  – równa masie sekcji zredukowanej do środka masy spągnicy,
- element sprężysty o współczynniku sprężystości  $c_1$ ,
- element tłumiący o współczynniku tłumienia  $b_1$ .

Dynamiczne oddziaływanie górotworu na sekcję modelują:

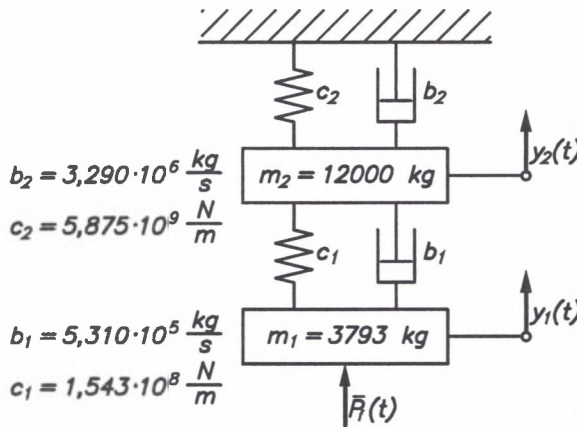
- masa skupiona  $m_2$  – równa masie stropowej bryły górotworu,
- element sprężysty o współczynniku sprężystości  $c_2$ ,
- element tłumiący o współczynniku tłumienia  $b_2$ .

Obciążenie dynamiczne sekcji modelowane jest w postaci siły zewnętrznej  $P(t)$ .

Wartość masy  $m_2$  stropowej bryły górotworu działającej na sekcję obudowy zmechanizowanej oszacowano porównując energię sprężystą przejętą przez stojaki ze zmianą energii potencjalnej osuwającej się bryły stropowej [6]. Wartość współczynnika  $c_1$  zależna jest od postaci konstrukcyjnej sekcji, wysokości słupa cieczy pod tłokiem stojaka i od średnicy cylindra. Wartości współczynników  $b_1$ ,  $b_2$  i  $c_2$  są zależne od parametrów modalnych sekcji — tzn. zbiorów częstości własnych  $\omega_{0,r}$  i odpowiadających im współczynników tłumienia modalnego  $\delta_r$ . W przypadku krótkotrwałych sygnałów przyspieszenia stropnicy, zarejestrowanych w wyrobisku, parametry modalne sekcji wyznacza się korzystając z równania charakterystycznego modelu parametrycznego tego sygnału.

Reasumując: identyfikację parametrów modelu przedstawionego na rys. 1 przeprowadzono korzystając z pomiarów wykonanych w wyrobisku obejmujących: wysokość sekcji oraz przebiegi czasowe – siły w stojakach i przyspieszenia stropnicy.

Na podstawie pomiarów wykonanych w wyrobiskach ścianowych, w których wystąpiły przypadki obciążenia dynamicznego sekcji od spagu oraz analizy wrażliwości modułu transmitancji widmowej modelu sekcji określono wartości parametrów modelu o module transmitancji widmowej reprezentatywnym dla warunków naturalnych i technicznych panujących w tych wyrobiskach. Wartości tych parametrów podano na rys. 2.



Rys. 2. Model sekcji poddanej obciążeniu dynamicznemu od spagu, charakteryzujący się największą zgodnością modułu  $\Phi_{12,f}(\omega)$  transmitancji widmowej z wartością średnią modułu transmitancji widmowej  $(\Phi_{12,f}(\omega))_{sr}$ .

Fig. 2. Model of a support unit subjected to dynamic action of the floor, characterized by the highest consistence of the  $\Phi_{12,f}(\omega)$  modulus of spectral transmittance with the  $(\Phi_{12,f}(\omega))_{sr}$  overage value of the modulus of spectral transmittance

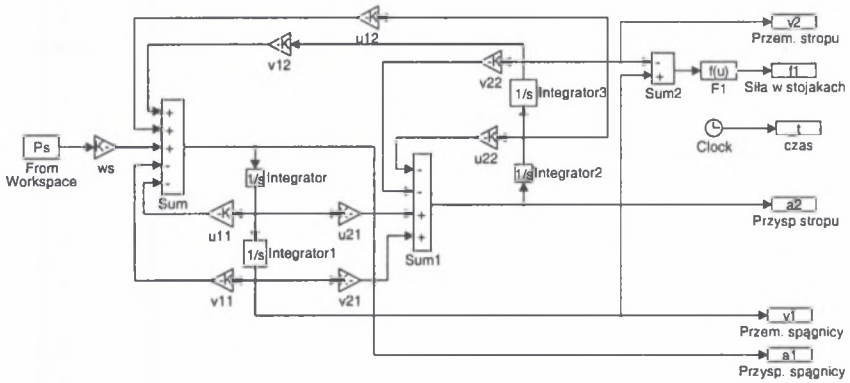
Moduł transmitancji widmowej modelu przedstawionego na rys. 2 jest niezbędny do wyznaczenia parametrów charakteryzujących losowe obciążenie dynamiczne sekcji obudowy zmechanizowanej:

- gęstości widmowej mocy sygnału obciążenia dynamicznego sekcji,
- wariacji obciążenia dynamicznego sekcji.

Za pomocą modelu przedstawionego na rys. 2 można również, na podstawie przyjętego przebiegu czasowego obciążenia dynamicznego sekcji, wyznaczyć przebieg czasowy siły w stojakach. Poniżej przedstawiono przykład symulacji komputerowej, zarejestrowanego w wyrobisku ścianowym, przypadku obciążenia dynamicznego sekcji, działającego od spagu.

### 3. Przykład symulacji komputerowej obciążenia dynamicznego sekcji od spągu

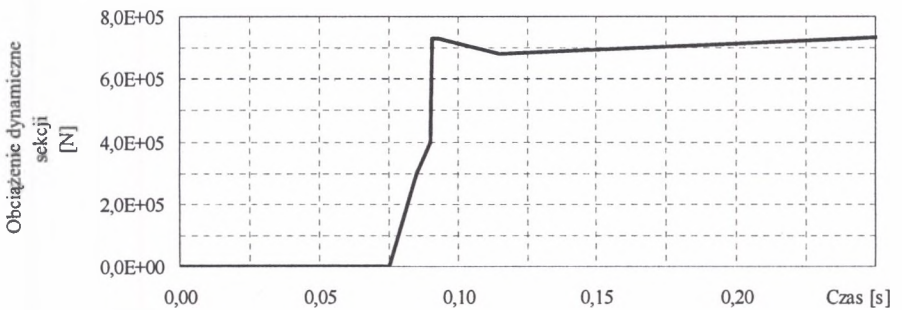
Celem wyznaczenia przebiegów czasowych charakteryzujących dynamiczne oddziaływania górotworu na sekcję od spągu, równania opisujące ruch modelu fizycznego sekcji (rys. 2) zapisano w programie SIMULINK w postaci schematu blokowego przedstawionego na rys. 3.



Rys. 3. Schemat blokowy modelu matematycznego sekcji poddanej obciążeniu dynamicznemu od spągu, zapisany w programie SIMULINK

Fig. 3. Block diagram of a mathematical model of a support unit subjected to dynamic load acting on the support unit from the floor, formulated in the SIMULINK program

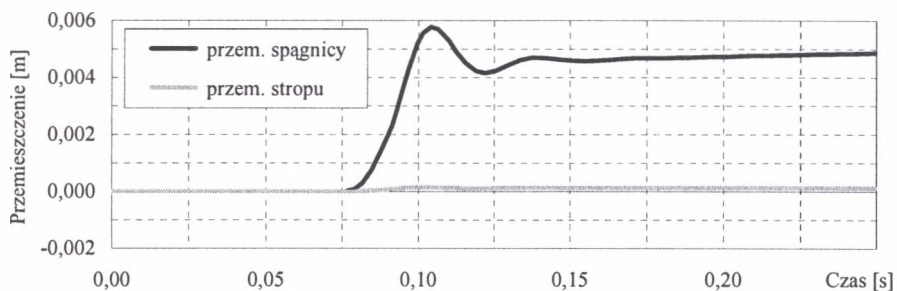
Przebieg czasowy obciążenia dynamicznego sekcji od spągu, przyjęty do obliczeń, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Przyjęty przebieg czasowy obciążenia dynamicznego sekcji od spągu

Fig. 4. Time related course of dynamic load acting on a support unit from the floor, assumed for calculations

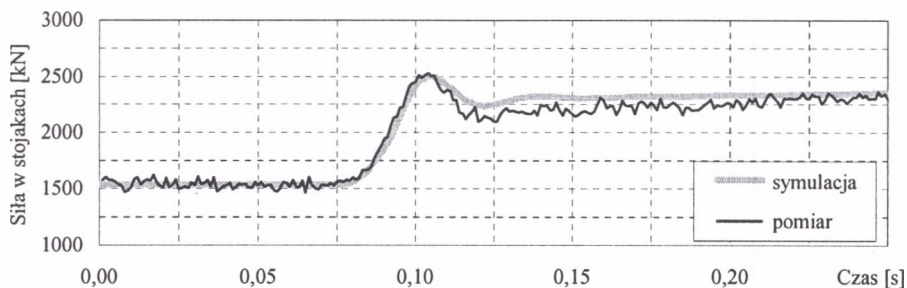
Na rys. 5 porównano wykresy przebiegów czasowych: przemieszczenia spągnicy ( $y_1$ ) oraz przemieszczenia stropowej bryły górotworu ( $y_2$ ). Zgodnie z układem współrzędnych, przyjętym na rys. 2, dodatnia wartość przemieszczenia  $y_2$  jest równoznaczna ze zwrotem wektora przemieszczenia bryły stropowej w stronę górotworu nienaruszonego. Maksymalna wartość przemieszczenia  $y_2$ , wyznaczona za pomocą symulacji komputerowej, jest mniejsza od 0,16 mm. Przesunięcie spękanej bryły stropowej w stronę warstwy górotworu nienaruszonego o 0,16 mm można jednak uznać za fizycznie możliwe.



Rys. 5. Porównanie wyznaczonych przebiegów czasowych przemieszczenia spągnicy i przemieszczenia bryły w warunkach dynamicznego oddziaływania górotworu od spągu

Fig. 5. Comparison of the determined time related courses of displacement of a base and of displacement of the rock block under conditions of dynamic action of the rock body exerted from the floor

Na rys. 6. przedstawiono porównanie przebiegu czasowego siły w stojakach, zarejestrowanego w ścianie IV pokładu 501 w KWK Wujek, z wynikiem symulacji komputerowej siły w stojakach spowodowanej działaniem na sekcję obciążenia dynamicznego o przebiegu czasowym przedstawionym na rys. 4.



Rys. 6. Porównanie przebiegu czasowego siły w stojakach, zarejestrowanego w wyrobisku z przebiegiem czasowym siły w stojakach wyznaczonym z obliczeń

Rys. 6. Comparison of the time related course of force in legs, as recorded in underground working with the time related course of force in legs determined by means of calculations

W fazie narastania siły w stojakach od wartości równej początkowej siły statycznej do wartości maksymalnej, przebieg czasowy uzyskany w wyniku symulacji komputerowej charakteryzuje dobra zgodność z przebiegiem czasowym siły w stojakach zarejestrowanym w wyrobisku. Zgodność wyniku symulacji komputerowej z przebiegiem czasowym siły w stojakach, zarejestrowanym w wyrobisku, jest obciążona błędem mniejszym od 8,4 %.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wariancja obciążenia dynamicznego sekcji obudowy zmechanizowanej o przebiegu czasowym przedstawionym na rys. 3 jest o 22,5 % większa od wariancji obciążenia dynamicznego sekcji, wyznaczonego na podstawie pomiarów siły w stojakach.

#### 4. Podsumowanie

Z przedstawionego przykładu symulacji komputerowej wynika, że działanie na sekcję obudowy zmechanizowanej obciążenia dynamicznego przedstawionego na rys. 4 wywołuje siłę w stojakach o przebiegu czasowym nie różniącym się jakościowo od przebiegów czasowych zarejestrowanych w wyrobisku.

Należy zaznaczyć, że nawet uzyskanie dużej zgodności, zarówno przebiegów czasowych siły w stojakach, jak i wariancji obciążenia dynamicznego sekcji – przyjętego w obliczeniach i wyznaczonego na podstawie pomiarów – nie upoważnia do stwierdzenia, iż obciążenie dynamiczne działające na sekcję w trakcie pomiaru siły w stojakach miało przebieg czasowy zgodny z przyjętym w obliczeniach. W przypadku obciążenia dynamicznego o charakterze losowym odwrotna dyskretna transformata Fouriera gęstości widmowej mocy sygnału jest bowiem równa funkcji autokorelacji procesu losowego i na tej podstawie nie można jednoznacznie określić przebiegu czasowego obciążenia dynamicznego.

#### LITERATURA

1. Szuścik W.: Podział tapani. XVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej. ZN Pol. Wrocławskiej, s. Konferencje, z. 33, s. 237-246. Wrocław 1994.
2. Szuścik W.: Tapania do wyrobisk ścianowych a sterowanie podpornością roboczą obudów zmechanizowanych. Materiały seminarium nt.: „Obudowy górnicze dla wyrobisk zagrożonych tapaniami”, s. 41-46. Sekcja Tapani Kom. Górn. PAN O/Katowice. Wiśła kwiecień 1995.

3. Szweda S.: Dynamic loads acting onto shield support from floor side. Proc. of International Conference "Geomechanics '96". Rožnov p. R. (Republika Czeska) wrzesień 1996. A. A .Balkema 1997, s.105-109.
4. Szweda S.: Identyfikacja parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji spowodowane dynamicznym oddziaływaniem górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1648, s. Górnictwo z. 259, Gliwice, 2004.
5. Szweda S.: Modelowanie obciążeń niszczących obudowę zmechanizowaną. Sprawozdanie z pracy BW-561/R-0/99. Praca niepublikowana, maszynopis, Biblioteka IMG Pol. Śląskiej. Gliwice 1999.
6. Szweda S.: Energia przejmowana przez stojaki podczas obciążeń dynamicznych obudowy zmechanizowanej. XXI Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu – Katedra Geomechaniki Górniczej i Geotechniki AGH. Materiały konferencyjne, s. 435-442. Kraków 1998.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sikora