

Jerzy KWIATEK
Główny Instytut Górnictwa, Katowice

WPLYW PRĘDKOŚCI EKSPLOATACJI NA OBIEKTY BUDOWLANE

Streszczenie. Przeanalizowano współdziałanie obiektów z podłożem poddanym nieustalonym deformacjom i określono przypadki, w których zwiększona prędkość eksploatacji jest dla nich niekorzystna. Wprowadzono kompleksowy współczynnik m , uwzględniający reologiczne właściwości górotworu i konstrukcji obiektów i charakteryzujący wzrost zagrożenia obiektów związany ze wzrostem prędkości eksploatacji.

EXPLOITATION RATE EFFECT UPON STRUCTURES

Summary. The co-operation has been analysed of the structures with the foundation subjected to transient deformations and the cases specified in which the increased mining speed is disadvantageous to them. A complex coefficient m has been introduced which includes rheological properties of the rock-mass and construction of the buildings and characterised by an increase of the hazard to them related to the increased mining speed.

1. Wprowadzenie

Względy ekonomiczne powodują potrzebę koncentracji wydobywania kopalin, między innymi poprzez zwiększanie prędkości eksploatacji. Zmniejszeniu ulegają wówczas nieustalone ekstremalne deformacje powierzchni, co z uwagi na ochronę znajdujących się na niej obiektów budowlanych jest zjawiskiem korzystnym. Do ekstremalnych deformacji dochodzi jednak w krótszym czasie, niż miałyby to miejsce w przypadku powolnego prowadzenia eksploatacji. Ta okoliczność jest z powodu ochrony obiektów budowlanych zjawiskiem na ogół niekorzystnym, gdyż w niektórych obiektach, z uwagi na rodzaj konstrukcji i rodzaj zastosowanych materiałów konstrukcyjnych, stan naprężenia spowodowany eksploatacją górnictwem zależy nie tylko od wartości, ale także od prędkości

górnictwa deformacji ich podłoża. Końcowy skutek zwiększania prędkości eksploatacji w ochronie obiektów budowlanych jest więc efektem nakładania się na siebie wymienionych czynników i ostatecznie może być dla obiektów zarówno korzystny, jak i niekorzystny. Za miarę niekorzystnego wpływu podziemnej eksploatacji górniczej na obiekty budowlane uznano dodatkowe naprężenia, jakie powstają w konstrukcyjnych elementach obiektów wskutek oddziaływania eksploatacji. W referacie przedstawiono oszacowanie wpływu prędkości podziemnej eksploatacji górniczej na te naprężenia, uwzględniając reologiczne właściwości zarówno górotworu, jak i konstrukcji obiektów w zakresie lepkoelastycznym. Rozpatrzono przypadek wpływu na obiekty wypukłej krzywizny powierzchni.

2. Sformułowanie problemu

Rozpatruje się stan naprężenia, jaki wywołuje w wybranym punkcie konstrukcji obiektu budowlanego krzywizna K powierzchni. Przyjmując liniową zależność pomiędzy dowolnie wybranym naprężeniem w konstrukcji a krzywizną powierzchni, otrzymuje się dla eksploatacji górniczej prowadzonej z prędkością $v_s \rightarrow 0$

$$\sigma_0 = k K_0$$

gdzie K_0 oznacza krzywiznę powierzchni przy eksploatacji z prędkością $v_s \rightarrow 0$, σ_0 oznacza spowodowane tą krzywizną wybrane naprężenie, natomiast k jest współczynnikiem proporcjonalności zależnym od rodzaju konstrukcji, lokalizacji wybranego w niej do rozważań punktu i wybranego rodzaju naprężenia. W przypadku prowadzenia eksploatacji z prędkością v_s wystąpi krzywizna $K = M_+ K_0$, gdzie przez $M_+ \leq 1$ oznaczono współczynnik charakteryzujący wpływ prędkości eksploatacji na kształtowanie się wartości krzywizny powierzchni. Do krzywizny K dojdzie w skończonym czasie, sprzężonym z prędkością eksploatacji, wobec czego powstałe w konstrukcji obiektu naprężenie będzie, wskutek wystąpienia jej pełzania w ograniczonym zakresie, większe co do bezwzględnej wartości od naprężenia, jakie powstałoby w przypadku nieskończonej powolnej eksploatacji. Stosunek tych naprężeń oznaczono przez $\beta \geq 1$. Powstałe w konstrukcji w efekcie prowadzenia eksploatacji z prędkością v_s naprężenie σ określa więc zależność

$$\sigma = \beta M_+ k K_0 = m \sigma_0,$$

gdzie oznaczono $m = \beta M_+$ [3]. Wprowadzony współczynnik m przedstawia wpływ prędkości eksploatacji na wzrost dowolnie wybranego naprężenia w konstrukcji obiektu w stosunku do prędkości nieskończonej powolnej. Ujmuje on zagadnienie kompleksowo zarówno w aspekcie

reologicznych właściwości górotworu, jak też w aspekcie reologicznych właściwości konstrukcji obiektu. W dalszym ciągu przedstawiony zostanie sposób określania współczynnika M_+ oraz przytoczona zostanie zależność określająca współczynnik β , przy uwzględnieniu dla górotworu i materiałów konstrukcji obiektów budowlanych modelu ciała *Zenera* [2].

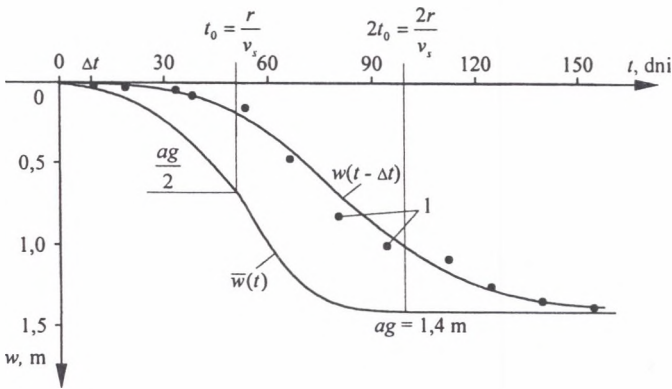
3. Deformacje powierzchni

Opis nieustalonych deformacji powierzchni był i jest nadal przedmiotem licznych prac. Wśród nich wyróżnić należy prace opierające się na teorii *Knothe* [1], zakładające proporcjonalność obniżen powierzchni do nie zrealizowanej ich części opóźnionej. W [2,3] pokazano możliwość uogólnienia teorii *Knothe*, stosując do opisu deformacji powierzchni w zależności od czasu dowolny model reologiczny, przy czym konkretne rozwiązanie przedstawiono dla modelu *Zenera*. Wprowadzony model traktowany jest jako analog procesu deformacji górotworu, charakteryzujący jego globalne właściwości reologiczne.

W przypadku rozpatrywania ścianowej eksploatacji górniczej w płaskim stanie odkształcenia górotworu, prowadzonej w poziomo zalegającym pokładzie na głębokości H , o grubości g , z prędkością v_s , w czasie τ od $-\infty$ do τ_0 , obniżenie $w_A(t)$ punktu A na powierzchni w czasie $t \geq \tau_0$ określa zależność [2]

$$w_A(t) = \int_{-\infty}^{\tau_0} g v_s \bar{\omega}[x(\tau)] \zeta_2(t-\tau) d\tau,$$

gdzie $\bar{\omega}(x)$ jest linią wpływową (krzywą wpływów) odpowiadającą rozpatrywanemu punktowi, x współrzędną chwilowego położenia frontu eksploatacji w czasie τ , natomiast $\zeta_2(t-\tau)$ jest funkcją charakteryzującą pełzanie górotworu, właściwą dla przyjętego modelu reologicznego.



Rys. 1. Przykład teoretycznej aproksymacji wyników pomiarów terenowych:

l – wyniki pomiarów terenowych,

$\bar{w}(t)$ – końcowe obniżenie rozpatrywanego punktu powierzchni w przypadku zatrzymania eksploatacji w czasie t ,

Δt – czas potrzebny do początku ujawniania się na powierzchni efektu wybrania elementarnej objętości pokładu,

r – promień zasięgu wpływów głównych

Fig. 1. Illustrating the example of theoretic approximation of measurement results:

l – measurement results,

$\bar{w}(t)$ – asymptotic subsidence of researching point on land surface in cause stopped extraction at time,

Δt – time which was needed for effect of excavation elementary volume of longwall panel,

r – angle of draw

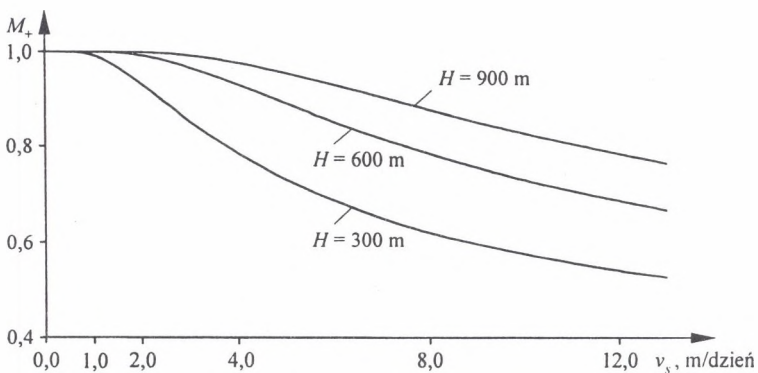
Przedstawiona zależność może być punktem wyjścia do uzyskania rozwiązania możliwie najlepiej dopasowanego do danych eksperymentalnych poprzez odpowiedni dobór funkcji \bar{w} i ζ_2 . W [2] zaprezentowano rozwiązanie dla trójkątnej krzywej wpływów i funkcji ζ_2 właściwej dla modelu Zenera, a na rys. 1 pokazano przykład uzyskanej aproksymacji wyników pomiarów terenowych. Znajomość funkcji określającej obniżanie się w czasie punktu na powierzchni umożliwia wyznaczenie pozostałych wskaźników opisujących niestaloną nieckę osiadania. W szczególności do dalszych rozważań potrzebna będzie znajomość współczynnika M_+ , określającego stosunek ekstremalnej wartości krzywizny w wypukłej części niecki odpowiadającej prowadzeniu eksploatacji z prędkością v_s do jej ekstremalnej wartości odpowiadającej prowadzeniu eksploatacji z prędkością $v_s \rightarrow 0$. Współczynnik ten określa zależność [2]

$$M_+ = 1 - \frac{\Gamma_2 - 1}{\Gamma_2} e^{-\frac{1}{A}},$$

gdzie $A = \frac{\Gamma_2 T v_s}{r}$, natomiast Γ_2 i T są parametrami charakteryzującymi reologiczne właściwości górotworu w przyjętym do ich opisu modelu *Zenera*. W szczególności w przytoczonym wyżej przykładzie otrzymano $\Gamma_2 = 3$ i $T = 11$ dni, a odpowiadający tym warunkom przebieg współczynnika M_+ przedstawiono na rys. 2. Współczynnik ten zmniejsza się wraz ze wzrostem prędkości eksploatacji, przy czym intensywność tego zmniejszania jest tym większa, im mniejsza jest jej głębokość. Świadczy to o zmniejszaniu się ekstremalnych wartości krzywizn powierzchni wraz ze wzrostem prędkości eksploatacji, jednak zakres tego zjawiska jest mniejszy, niż dotychczas sądzono.

4. Naprężenia w konstrukcji obiektów

W dalszym ciągu rozpatruje się obiekty budowlane, których konstrukcje są czułe na prędkość eksploatacji górniczej. Zalicza się do nich odkształcalne konstrukcje o schematach statycznie niewyznaczalnych, wykonane z materiałów o wyraźnych cechach reologicznych [3]. Przyjmując dla materiału konstrukcji reologiczny model ciała *Zenera* i uwzględniając wzrost krzywizny do wartości największej w czasie potrzebnym do przejścia frontu eksploatacyjnego odcinka równego



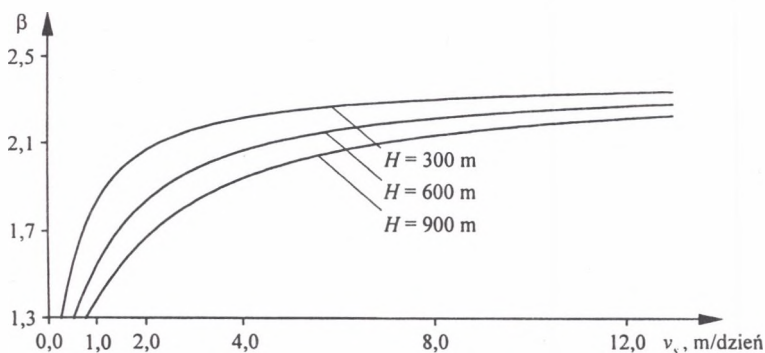
Rys.2. Wykres współczynnika M_+ .
Fig.2. The graph of coefficient M_+

zasięgowi wpływów głównych, otrzymuje się [2]

$$\beta = 1 + (\Gamma_2 - 1) \frac{2T v_s}{H} \left(1 - e^{-\frac{H}{2T v_s}} \right)$$

Powyżej Γ_2 i T są tu parametrami modelu *Zenera*, właściwymi dla materiału konstrukcyjnego obiektu. W szczególności dla podstawowych materiałów budowlanych, o wyraźnych cechach reologicznych, jakimi są beton i mur z cegły, można przyjąć średnio $\Gamma_2 = 2,4$ i $T = 130$ dni. Na rys. 3 przedstawiono kształtowanie się współczynnika β dla obiektów wykonanych z betonu lub muru z cegły.

Współdziałanie obiektu budowlanego z podłożem na terenach poddanych wpływom podziemnej eksploatacji górniczej jest problemem reologicznym współdziałania ze sobą dwóch ciał o różnych właściwościach reologicznych, z których jedno poddawane jest wymuszonym deformacjom. Równoczesne uwzględnienie reologicznych właściwości zarówno konstrukcji obiektu, jak i podłoża jest kłopotliwe. W przedstawionym rozwiązaniu wykorzystano wyniki analizy zjawiska, na podstawie której można dla celów inżynierskich pominąć reologiczne właściwości podłoża i uwzględniać je tylko w konstrukcji obiektu budowlanego [2].



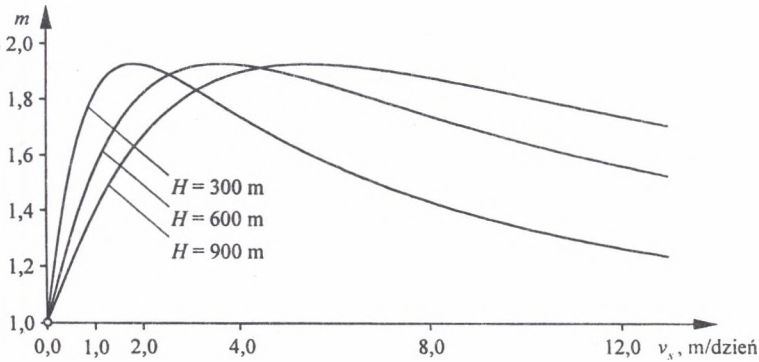
Rys.3. Wykres współczynnika β
Fig.3. The graph of coefficient β

Znajomość współczynnika M_+ dla analizowanego górotworu i współczynnika β dla obiektów z betonu i muru z cegły pozwala ocenić wartość współczynnika m dla tych warunków i dla różnych głębokości i prędkości eksploatacji. Przebieg tego współczynnika dla spotykanych w praktyce warunków górniczych przedstawiono na rys. 4.

5. Wnioski

Wprowadzony współczynnik m może być traktowany jako wskaźnik zagrożenia obiektów budowlanych w zależności od prędkości eksploatacji. Z kształtowania się wartości tego współczynnika wynika, że:

- w stosunku do dodatkowych naprężeń, powstających w konstrukcji obiektów budowlanych przy prędkości eksploatacji $v_s \rightarrow 0$, naprężenia te przy wzrastającej prędkości eksploatacji ulegają początkowo wyraźnemu zwiększeniu, a następnie nawet zmniejszają się,
- ilościowy przebieg zjawiska zależy od głębokości eksploatacji,
- prędkości eksploatacji, przy których występuje ich ekstremalny wpływ na obiekty budowlane wahają się od około 2 m/dzień dla głębokości 300 m do około 5 m/dzień dla głębokości 900 m.



Rys.4. Wykres współczynnika m
Fig.4. The graph of coefficient m

Przedstawiony w dużym skrócie pogląd na rozpatrywane zagadnienie należy traktować jako wstępny, jego praktyczne znaczenie wskazuje na potrzebę dalszych badań.

LITERATURA

1. Knothe S.: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, 1953, t.1, z.1, s.51-62.

2. Kwiatek J.: O reologicznych aspektach zagrożenia obiektów budowlanych na terenach górniczych. Prace Naukowe GIG nr 827. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1997.
3. Kwiatek J.: O wpływie prędkości podziemnej eksploatacji górniczej na obiekty budowlane. Przegląd Górniczy 7-8, Katowice 1999, s.1-8.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Zych

Abstract

The problem of exploitation rate effect upon buildings and their hazard in the aspect of the state of stress in their construction has been presented in this paper. Cases in which the increasing exploitation rate in unfavourable have been specified. A complex coefficient m characterizing the increase of hazard of buildings related to the exploitation rate has been introduced.(Fig. 4.). It takes into account the rheological properties both of the orogen and the construction itself. The dependence between the coefficient value m and the time causes the following:

- in relation to endangered structures at low rates of exploitation the increasing rate initially increases their hazard significantly whereas subsequently it can be considered as stable or even decreasing,
- the quantitative progress of the effect depends on the exploitation depth,
- the exploitation rates extremely affecting structures range from 2m/d for depth of 300 m to about 5m/d for depth of 900 m,

This shortened view upon the exploitation rate effect on structures has been generalised. However, definite cases need detailed testing.