

Tomasz CISEK, Jan PĘCIAK, Marek WESOŁOWSKI

## ODDZIAŁYWANIE PRĘDKOŚCI EKSPLOATACJI NA ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ I WIELKOŚĆ DEFORMACJI GÓROTWORU OTACZAJĄCEGO

### CZĘŚĆ 1. NAPRĘŻENIA

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono określenie wpływu prędkości wybierania pokładu na zachowanie się górotworu w jego sąsiedztwie. W części pierwszej autorzy na podstawie przeprowadzonej symulacji komputerowej pokazali, jak się kształtuje rozkład naprężeń w otoczeniu wyrobiska ścianowego w przypadkach prowadzenia wyrobisk ścianowych z kilkoma różnymi prędkościami. Na podstawie uzyskanych wyników autorzy stwierdzili, że generalnie wzrost prędkości wybierania prowadzi do wzrostu naprężeń w rozpatrywanym obszarze, chociaż nie jest on liniowy.

## AN EFFECT OF MINING VELOCITY ON STRESS PATTERN AND QUANTITY OF STRAIN IN SURROUNDING ROCK MASS

### PART 1. STRESSES

**Summary.** The paper presents determination of effect of mining velocity on surrounding rock mass behaviour. On the first part, authors, using a computer simulation methods, shows how a stress pattern is created in case of longwall driving with few different velocities. On the ground of obtained results authors find, that generally increase of driving velocity causes a increase of stresses in considered zone, although this increase is not linear.

### 1. Wprowadzenie

Określenie wpływu prędkości wybierania pokładów węgla na zachowanie się warstw stropowych, a w szczególności na przebieg ich deformacji, stanowiło od wielu lat jedno z ważniejszych zadań stojących przed naukowcami zajmującymi się problematyką górnictwa.

Rozwój w ostatnich latach technik eksploatacji, a w szczególności możliwość eksploatacji pokładów ze znacznymi prędkościami, sprawił, że określenie wpływu prędkości eksploatacji na proces deformacji skał stropowych oraz powierzchni terenu nabrało znaczenia bardziej praktycznego i stanowi obecnie jedną z istotniejszych dziedzin geomechaniki górniczej.

Pierwsze prace prowadzone nad problematyką dotyczącą wpływu prędkości wybierania na zjawiska zachodzące w górotworze otaczającym wyrobisko górnicze prowadzone były już od początku lat pięćdziesiątych. Należy w tym miejscu przytoczyć prace prowadzone przez Knothego (1953) oraz Litwiniszyna (1955) [7]. Stanowiły one podstawę wielu rozważań, jednak nie udzieliły w sposób jednoznaczny odpowiedzi na postawione pytanie: „szybciej czy wolniej”[5].

Brak kompleksowego modelu określającego zarówno czasowe zmiany niecki osiadania, jak i wpływ prędkości wybierania na jej kinematyczne parametry przyczynił się do powstania dwóch przeciwstawnych teorii.

Początkowo przyjęty był pogląd zalecający prowadzenie eksploatacji w wyrobisku ściannowym z jak największą prędkością. Kolejne badania i prowadzone pomiary zarówno w wyrobiskach podziemnych, jak i na powierzchni terenu objętego wpływami eksploatacji przyczyniły się do całkowitej zmiany wcześniej przyjętych poglądów i nakazywały prowadzenie wybierania ze zmniejszoną prędkością eksploatacji.

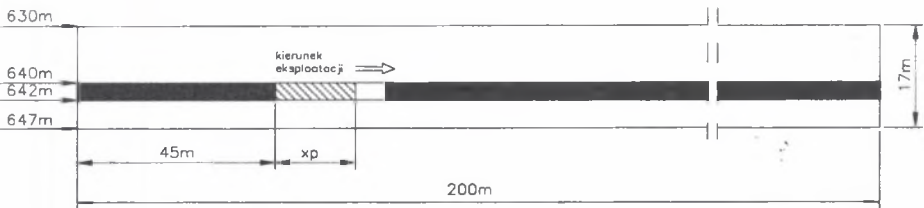
Zagadnienia związane z oceną wpływu prędkości prowadzenia eksploatacji na przebieg deformacji warstw stropowych nie można jednak rozpatrywać tylko w aspekcie „wolniej lub szybciej”. Na proces deformacji górotworu otaczającego wpływa wiele czynników, do których zaliczyć należy zarówno czynniki związane z budową geologiczną górotworu, jak również czynniki związane z parametrami mechanicznymi skał. Mnogość tych czynników, a także zróżnicowanie rejonów eksploatacyjnych powoduje, że prędkość eksploatacji powinna być indywidualnie dobrana dla konkretnych warunków eksploatacji.

W poniższej pracy podjęto próbę oceny zachowania się belki stropowej pod wpływem różnych prędkości wybierania. Analizy dokonano przy użyciu numerycznych metod obliczeniowych.

Prace takie były prowadzone już przez instytucje naukowo-badawcze, między innymi przez Katedrę Geomechaniki AGH w Krakowie [10], Katedry Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej w Gliwicach [9].

## 2. Charakterystyka modelu górotworu

Celem wyznaczenia pól zmienności naprężeń i przemieszczeń będących następstwem prowadzenia eksploatacji w wyrobisku ścianowym zbudowany został numeryczny model górotworu w rejonie prowadzonej eksploatacji. Model ten stanowi tarczę płaską o wymiarach 200 m x 17 m (rys.1.), zbudowaną z układu trzech poziomych warstw. Warstwa dolna o miąższości 5 m stanowi bezpośredni spąg przeznaczony do eksploatacji pokładu węgla o grubości 2 m. Nad pokładem węgla zalega jednorodna warstwa skalna o miąższości 10 m.



Rys.1. Model tarczy górotworu w rejonie eksploatacji  
Fig.1. Rock mass shield model in mining zone

Biorąc pod uwagę fakt, iż rzeczywisty ośrodek skalny składa się z kilkudziesięciu warstw o zróżnicowanej miąższości, przyjęto zasadę, że zespół kilku cienkich warstw składa się na jedną warstwę modelową, traktowaną jako ekwiwalentny, jednorodny ośrodek transwersalnie izotropowy.

Celem uproszczenia procesu budowy fizycznego modelu górotworu założono, że brak jest zaburzeń geologicznych wpływających na uzyskane wyniki symulacji komputerowej. Podobne założenie przyjęto w przypadku modelowania wpływów eksploatacji dokonanej.

Warstwom skalnym stanowiącym modelowy układ górotworu przyporządkowany został nieliniowy model sprężysto-lepki o charakterystyce naprężeniowej oraz odkształceniowej zgodnie z modelem standard. Przyjęcie do dalszych rozważań takiego modelu zgodne jest z prowadzonymi wcześniej badaniami [5, 6] oraz [1].

Przyjęty powyżej model Zenera-Standard opisujący górotwór posłużył do wykonania obliczeń numerycznych pola naprężeń i przemieszczeń wokół wyrobiska ścianowego.

W przypadku obliczeń numerycznych prowadzonych dla układu ścianowego, który stanowi istotę poniższej pracy, oparto się jedynie na teoretycznie dobranych parametrach materiałowych górotworu. Może to prowadzić do wystąpienia różnic ilościowych w wyznaczo-

nych wartościach przemieszczeń i naprężeń występujących w warstwie stropowej, jednak ich jakościowy charakter powinien odwzorować warunki zbliżone do naturalnych. Parametry materiałowe przyjęte w modelu górotworu zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie parametrów warstw

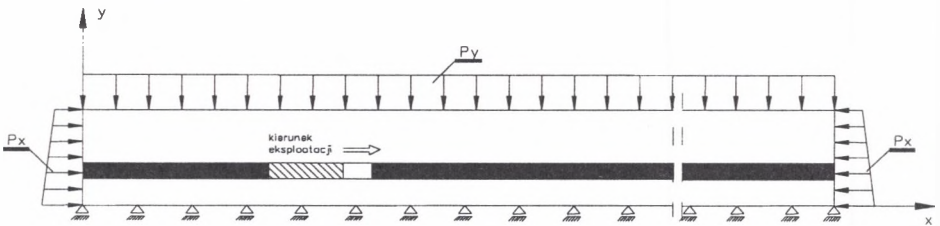
Warstwa	E [MPa]	n [--]	r [kg/m <sup>3</sup> ]	Ściślność [%]
Strop	10000	0,15	2500	--
Pokład	1150	0,25	1400	--
Podsadzka	140	0,27	900	0.14
Spąg	9000	0,2	2500	--

### 3. Modelowanie siatki górotworu oraz ustalenie warunków brzegowych

Celem wyznaczenia naprężeń oraz przemieszczeń w warstwie stropowej, będących następstwem prowadzonej eksploatacji, zamodelowano płaską tarczę górotworu o wymiarach 200 m x 17 m. Układ górotworu stanowią trzy izotropowe warstwy:

- spąg - o miąższości 5 m,
- pokład - o miąższości 2 m,
- strop - o miąższości 10 m.

Schemat tarczy modelu górotworu przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Schemat warunków brzegowych

Fig.2. Boundary condition diagram

Dla przeprowadzenia numerycznych obliczeń tarcza górotworu podzielona została na prostokątne elementy o wymiarach zależnych od rozpatrywanej warstwy. Różnice pomiędzy wymiarami elementów przyporządkowanych kolejnym warstwom górotworu wynikają z przyjętych wymiarów warstw skalnych (tabela 2).

Tabela 2

## Wymiary elementów siatki

Rodzaj warstwy	Wymiary elementu (L x H)
Strop pokładu	3 x 2 m
Pokład	3 x 2m
Podsadzka	3 x 2m
Spąg	3 x 2.5m

Węzły siatki, które znajdują się na skrajnych krawędziach tarczy zgodnych z kierunkiem Y (rys.2.), mają możliwość przemieszczania się zgodnie z kierunkiem Y (kierunek Y odpowiada głębokości górotworu). Węzły znajdujące się na dolnej krawędzi siatki (kierunek poziomy zgodny z kierunkiem X) utwierdzone są we wszystkich kierunkach. Pozostałe punkty węzłowe znajdujące się wewnątrz siatki górotworu mogą się przemieszczać we wszystkich kierunkach płaszczyzny X-Y.

Ustalając warunki brzegowe przyjęto, że tarcza górotworu obciążona jest ciśnieniem pierwotnym  $p_y$  wynikającym z ciężaru warstw nadległych i odpowiadającym głębokości górnej krawędzi siatki (630 m). Ponadto ciśnienie pionowe pierwotne zwiększone zostało o siły masowe, wynikające z ciężaru warstw tworzących tarczę górotworu.

Poziome naprężenia (zgodne z kierunkiem osi X) stanowią część naprężenia pionowego i zgodnie z klasyczną teorią zależne są od współczynnika Poissona. Oznaczone w ten sposób wielkości naprężeń pierwotnych dla modelu tarczy górotworu przedstawionego na rys.2. wynoszą odpowiednio:

$$p_y = 15,75 \text{ MPa,}$$

$$p_x = 2,82 - 5,33 \text{ MPa.}$$

Obudowę wyrobiska ścianowego z uwagi na duży stopień skomplikowania podparcia stropu oraz spągu zamodelowano jako element o parametrach zbliżonych do parametrów obudowy. Wymiary elementu odpowiadają w przybliżeniu wymiarom wyrobiska ścianowego, tj. 6 x 2 m (L x H).

#### 4. Modelowanie stadium wyjściowego

Określenie pól naprężeń oraz przemieszczeń towarzyszących postępującej eksploatacji górniczej wymagało zasymulowania kolejnych trzech stadiów tworzenia modelu numerycznego:

- stadium pierwsze - modelowanie warunków początkowych,
- stadium drugie - wykonanie przecinki ścianowej,
- stadium trzecie - prowadzenie eksploatacji w wyrobisku ścianowym.

Etap pierwszy obejmował szereg czynności mających na celu odwzorowanie pierwotnego stanu naprężeń panujących w ośrodku skalnym, przy jednoczesnym ustabilizowaniu się górotworu.

Drugie stadium tworzenia modelu górotworu obejmowało wykonanie wyrobisk przygotowawczych (przecinki ścianowej).

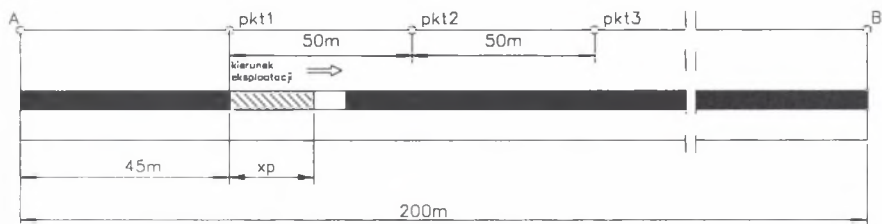
Trzecie stadium modelowania obejmuje etap właściwej eksploatacji prowadzonej w wyrobisku ścianowym. Zasymulowano eksploatację górniczą z podszadką hydrauliczną na odcinku 150 m od miejsca wykonania przecinki ścianowej. Osiągnięcie przez wyrobisko ścianowe wybiegu równego 150 m powinno się okazać się wystarczającą odległością, aby uniknąć nakładania się wpływów krawędzi ruchomej (frontu eksploatacyjnego) od krawędzi stałej, jaką jest miejsce rozpoczęcia eksploatacji.

Biorąc pod uwagę fakt, iż istotą pracy jest określenie wpływu prędkości wybierania na przebieg deformacji warstwy stropowej oraz rozkład naprężeń w tej warstwie, zasymulowano eksploatację pokładu węgla z prędkościami: 2 m/dobę, 4 m/dobę, 6 m/dobę, 8 m/dobę oraz 10 m/dobę.

#### 5. Rozkład naprężeń w górotworze otaczającym

Kolejnym etapem symulacji komputerowej biegu ściany podszadkowej jest określenie zmian naprężeń wokół wyrobiska. Zmiany w polu naprężeń wywołane postępującą eksploatacją górniczą określono dla postępującego frontu wybierania z prędkościami 2 m/dobę, 4 m/dobę, 6 m/dobę, 8 m/dobę oraz 10 m/dobę. Pomiarów naprężeń towarzyszących postępującej eksploatacji dokonywano wzdłuż linii pomiarowej A-B (rys.3.).





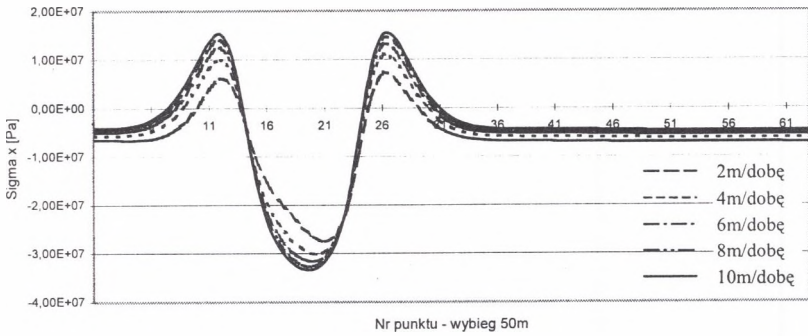
Rys. 3. Schemat wyrobiska ścianowego z naniesionymi punktami pomiarowymi  
Fig.3. Longwall diagram with measuring points

Analizując zmiany w polu naprężeń pionowych i poziomych wzdłuż linii A-B (rys.4 do 9), można stwierdzić, iż najbardziej niekorzystnym etapem eksploatacji jest początkowy etap rozruchu ściany. Dzieje się tak zarówno w przypadku naprężeń pionowych, jak i poziomych. Jest ono wynikiem nakładania się pól koncentracji naprężeń pochodzących od dwóch krawędzi eksploatowanego pokładu. Dalsza eksploatacja powoduje stopniowe oddalanie się krawędzi ruchomej od krawędzi, określającej miejsce rozpoczęcia wybierania. Stopniowe oddalanie się dwóch krawędzi w konsekwencji prowadzi do zmniejszania sumarycznych naprężeń eksploatacyjnych. Proces ten postępuje do chwili, gdy wzajemna odległość dwóch krawędzi będzie wystarczająco duża, by nie występowało zjawisko nakładania się dwóch pól koncentracji naprężeń eksploatacyjnych. Wraz z oddalaniem się krawędzi pokładu wskutek prowadzenia eksploatacji naprężenia towarzyszące czołu ściany będą się stabilizowały na poziomie charakteryzującym zaawansowaną eksploatację.

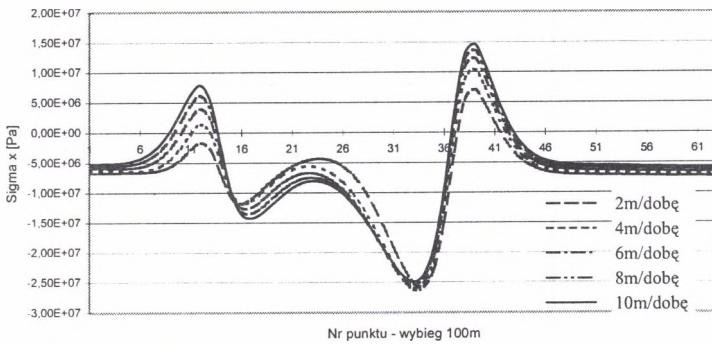
Naprężenia towarzyszące stałej krawędzi pokładu (miejsce rozpoczęcia eksploatacji) będą ulegać stopniowej redukcji w procesie relaksacji.

Rozpatrując wpływ prędkości postępującego frontu wybierania na pojawiające się naprężenia eksploatacyjne, należy stwierdzić, że im mniejsza prędkość przesuwaną się ściany, tym mniejsze wartości naprężeń. Wzrost prędkości wybierania prowadzi do wzrostu naprężeń, zarówno w przypadku krawędzi stałej, jak i krawędzi ruchomej (czoła ściany). Należy w tym miejscu wspomnieć, że przyrost naprężeń eksploatacyjnych wraz ze wzrostem prędkości jest różny dla krawędzi stałej i dla krawędzi ruchomej.

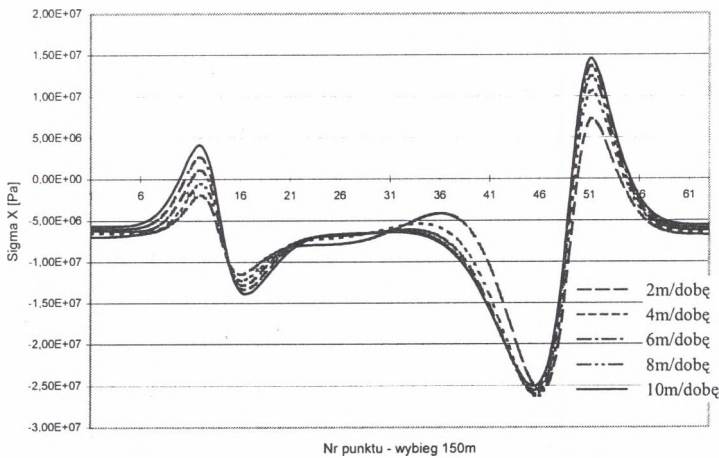
Wielkość naprężeń charakteryzujących stałą krawędź belki stropowej wraz z postępowaniem ściany ulega ciągłej redukcji. Dzieje się tak z powodu oddalania się krawędzi ruchomej, a więc rozdzielania pól koncentracji naprężeń, a także z powodu czynnika relaksacji naprężeń. Zjawisko takie obserwuje się zarówno dla naprężeń poziomych (rys.4 do 6), jak i dla naprężeń pionowych (rys.7 do 9).



Rys.4. Rozkład naprężeń poziomych wzdłuż linii A-B dla wybiegu 50 m (etap I)  
 Fig.4. Horizontal stress pattern along A-B line made for first 50 m of mining (I stage)

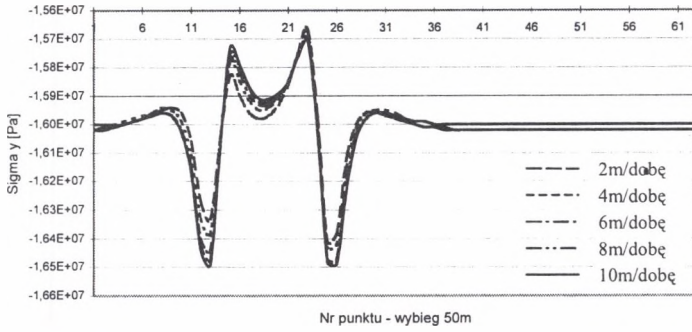


Rys.5. Rozkład naprężeń poziomych wzdłuż linii A-B dla wybiegu 100 m (etap II)  
 Fig.5. Horizontal stress pattern along A-B line made for first 100 m of mining (II stage)

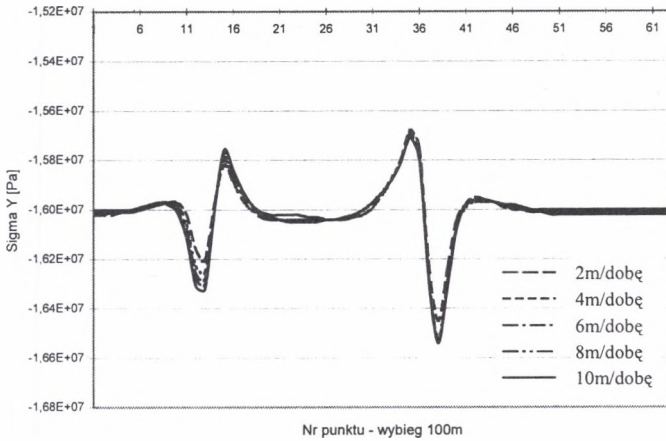


Rys.6. Rozkład naprężeń poziomych wzdłuż linii A-B dla wybiegu 150 m (etap III)  
 Fig.6. Horizontal stress pattern along A-B line made for first 150 m of mining (III stage)

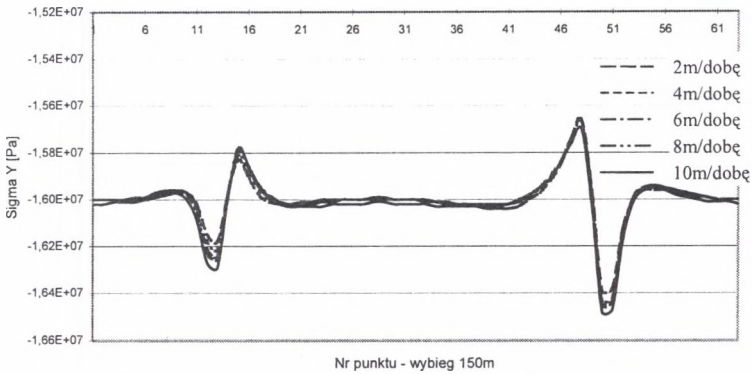




Rys.7. Rozkład naprężeń pionowych wzdłuż linii A-B dla wybiegu 50 m (etap I)  
 Fig.7. Vertical stress pattern along A-B line made for first 50 m of mining (I stage)



Rys.8. Rozkład naprężeń pionowych wzdłuż linii A-B dla wybiegu 100 m (etap II)  
 Fig.8. Vertical stress pattern along A-B line made for first 100 m of mining (II stage)



Rys.9. Rozkład naprężeń pionowych wzdłuż linii A-B dla wybiegu 150 m (etap III)  
 Fig.9. Vertical stress pattern along A-B line made for first 150 m of mining (III stage)

Wpływ prędkości wybierania na wielkość naprężeń odpowiadających ruchomej krawędzi eksploatacji jest podobny jak w przypadku omówionych w poprzednim punkcie przemieszczeń. Zarówno dla naprężeń pionowych, jak i poziomych największy wzrost naprężeń towarzyszy wzrostowi prędkości wybierania od 2 m/dobę do 4 m/dobę. Dalszy wzrost dobowego postępu wyrobiska ścianowego powoduje już mniejsze przyrosty naprężeń.

Wpływ prędkości wybierania na przemieszczenia w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego został przedstawiony w drugiej części artykułu.

## LITERATURA

1. Borecki M., Chudek M.: *Mechanika górotworu*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1968.
2. Budryk W.: Wyznaczanie wielkości poziomych odkształceń terenu. *Archiwum Górnicztwa i Hutnictwa t. I z.1* 1953.
3. Drzęźła B.: Rozwiązanie pewnego przestrzennego zadania liniowej teorii sprężystości w zastosowaniu do prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej wraz z oprogramowaniem. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Górnicztwo Z.91*, Gliwice 1978.
4. Drzęźła B.: Podstawy teoretyczne wyznaczania parametrów teorii ruchu górotworu nad eksploatacją górniczą. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Górnicztwo Z.87*, Gliwice 1978.
5. Drzęźła B.: Wpływ prędkości wybierania i zmian prędkości wybierania (postojów ścian) na obiekty powierzchni w świetle przyjętych modeli teoretycznych. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*. 1996.
6. Kidybiński A.: *Podstawy geotechniki kopalnianej*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1982.
7. Kłeczek Z.: *Geomechanika górnicza*. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
8. Knothe S.: *Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1984.
9. Kowalski A.: Wpływ prędkości eksploatacji na deformacje powierzchni na przykładzie eksploatacji KWK Staszic. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*. 1996.
10. Kwaśniewski M., Wang J.: Analiza numeryczna deformacji górotworu wywołanych eksploatacją górniczą. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*. 1996.

11. Filcek H., Walaszczyk J., Tajduś A.: Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
12. Sałustowicz A.: Osiadanie stropu w świetle teorii ścinania i ugięcia belek. Sbornik vedec-kych prací VŠB v Ostravi. Vol VII. Ostrava 1961.

Recenzent: Dr inż. Zenon Duda

### Abstract

Problem of determination of mining velocity effect on surrounding rock mass behaviour is one of the most important mining practice. On the first part, authors, using a computer simulation methods, shows how a stress pattern is created in case of longwall driving with few different velocities: 2m/day, 4 m/day, 6m/day, 8 m/day and 10 m/day. The model is a flat shield consist of three horizontal layers: floor layer - 5m, coal seam 2m and roof layer 10m. three stages of mining was simulated: first stage- initial conditions, second stage - longwall cross-cut realisation and third stage - longwall driving. On the ground of obtained results authors find, that increase of driving velocity causes a increase of stresses in considered zone, although this increase is the biggest between 2 m/day and 4 m/day. Further increase of driving velocity causes smaller stresses increments. It means, that further increase of stresses is levelled by rheological characteristics of rock mass.