# ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: GÓRNICTWO z. 138

1985

Nr koł, 840

Andrzej JANORSKI

WPŁYW ŚCIŚLIWOŚCI CALIZNY WĘGLOWEJ WYBIERANEGO POKŁADU NA ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCEŃ W GÓROTWORZE W SASIEDZTWIE CZYNNEGO FRONTU ŚCIANOWEGO

> <u>Streszczenie</u>. W ertykule w operciu o rozważanie analityczne pokezeno kształtowanie się rozkładów naprężeń i odkształceń w górotworze, spowodowanych eksplostację ścienowę, przy ustaleniu warunków brzegowych, które zakładając określone przemieszczenia pionowe stropu zalegającego bezpośrednio nad pokładem przed czołem czynnego frontu ścienowego, uwzględniają pośrednio ściśliwość calizny węglowej wybieranego pokładu.

1. WSTEP

Wzrost koncentracji wydobycia przy równoczesnym pogarszaniu się warunków wybierania w związku z przechodzeniem eksploatacji na niższe poziomy, wybieraniem w resztkach i filarach oraz pokładach tępięcych, wymagaję stażego doskonalenia metod wybierania, stosowania odpowiedniej profilaktyki oraz dokonywania bieżącej korekcji w prowadzeniu i usytuowaniu frontów ścianowych pod kątem minimalizacji szkodliwych wpływów.

Jednym z najważniejszych aspektów tego problemu jest umiejętność możliwie dokładnego przewidywania rozkładów naprężeń, przemieszczeń i odkaztałceń w górotworze spowodowanych eksplostację ścianowę. Badania oraz praktyka górnicza wskazuję, że w przypadku dużej ściśliwości wybieranego pokładu osiadania stropu przed przesuwającym się frontem ścianowym są stosunkowo znaczne malejąc z odległością w głąb calizny.

Rozwięzanie analityczne uwzględniejące poprzez odpowiednio sformułowany warunek brzegowy pionowe ruchy stropu nad caliznę węglową wybieranego pokładu może mieć więc znaczenie praktyczne dla prognozowania wpływu eksploatacji ne stan naprężeniowo-deformacyjny górotworu w pobliżu czoła frontu ścianowego.

W niniejszym artykule w oparciu o rozwiązanie uzyskana w pracy [5] przeanalizowano wielkości i sposób rozkładu naprężeń pionowych oraz odkaztałceń poziomych, w górotworze, w pobliżu czynnego frontu ścianowego, w Warunkach różnej ściśliwości calizny węglowej wybieranego pokładu. 2. SFORMUŁOWANIE WARUNKU BRZEGOWEGO, WYZNACZENIE ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCEŃ

W celu wyżnaczenie poszukiwanych rozkładów naprężań i odkaztałcań w górotworze, nad poziomo zalegejęcym na głębokości H pokładem, wybierenye jednoskrzydłowo, systemem ścienowym za stałę w czesie prędkościę postępu dostatacznie długiego frontu eksplostacji, tak by możne było pominąć wpływ wymierów poprzecznych wyrobiska ścienowego, rozpetruje się półpłaszczyznę z  $\leq 0$  z przemieszczeniowymi warunkami brzegowymi przyjętymi na styku stropu i pokładu. Poczętek układu współrzędnych przyjęto w siejacu rozpoczęcie wybierenie, tak że oś x leży w stropie pokładu a jej zwrot pokrywa się z kierunkiem postępu frontu ścienowego, natomiest oś z jest skierowene pionowo w górę (rys. 1). O górotworze założono, że jest liniowym, nieściśliwym, izotropowym i jednorodnym ośrodkiem reologicznym o modelu "Standard".

W przyjętym schemacie górotworu stałe materiałowa traktuje się jako średnie statystyczne lokalnie niejednorodnych i anizotropowych własności górotworu rzeczywistego i rozważej się górotw nieważki.





Dla tak przyjątego układu ustala się warunki brzegowe przyjmujęc, że na całym brzegu rozpatrywanej półpłaszczyzny (styk stropu z pokładem) przemieszczenia pionowe wyraża pewna funkcja cięgła a przemieszczenia poziome sę równe zeru. Aby wyznaczyć warunak brzegowy na przemieszczenia pionowa stropu w postaci funkcji gładkiej nad wybraniem i caliznę wybieranego pokładu, obszar wybrany o chwilowej szerokości Vt podzielono na

# Wpływ ściśliwości calizny węglowej....

obszary elementarne de (rys. 1) i zakładając, że osiedanie końcowe nie jest wielkością stałą a zalaży od położenie rozpstrywanego punktu od poczętku wybranie – przyjęto funkcję osiadanie końcowego dW<sub>k</sub> spowodowanego wybraniem elementarnym w postaci zależności:

$$dw_{k} = KW_{0}e^{-s\left[s-x\right]}ds$$

dla 0 < s < Vt - == < x < ==

gdzie:

100 2.07

- K współczynnik podlegający wyznaczaniu (K = 0,5a),
- W\_ maksymalne osisdanie końcowe w zrobach.
- a parametr geometryczny związeny z wielkością osiadania stropu nad calizną węglowę wybieranego pokładu.

Korzystając za znanej zależności, że prędkość obniżania się stropu jest proporcjonalna do różnicy między końcową wielkościę osiadania a obniżaniam aktualnym wyznaczono obniżenia chwilowa od wybrania elementarnego, a poprzez superpozycję wpływów na całę szerokość wybrania Vt poszukiwany warunek brzegowy uwzględniejący przemieszczenia pionowa stropu nad odkaztałcalnę caliznę pokładu w postaci formuł:

$$W_{1}(x,0,t) = \frac{aW_{0}}{2} e^{ax} \left[ \frac{1}{a} (1 - e^{-aVt}) - \frac{V}{\beta - aV} (e^{-aVt} - e^{-\beta t}) \right]$$
(2.1)

dla x < 0

$$\frac{\partial \Psi_{0}}{\partial t}(x,0,t) = \frac{\partial \Psi_{0}}{2} \left\{ \frac{1}{\theta} \left[ 2 - e^{-\theta x} - e^{-\theta (Vt-x)} \right] + \frac{V}{\beta^{-\theta V}} \left[ e^{-\theta (Vt-x)} - e^{-\frac{\beta}{V} (Vt-x)} \right] + \frac{V e^{-\beta t}}{\beta^{+\theta V}} \left( e^{\frac{\beta}{V} \cdot x} - e^{-\theta x} \right) \right\}$$

$$(2.2)$$

dla 0 ≤ x ≤ Vt

$$W_{3}(x,0,t) = \frac{aW_{0}}{2} e^{-ax} \left[ \frac{1}{a} (e^{aVt} - 1) - \frac{V}{\beta + aV} (e^{aVt} - e^{-\beta t}) \right]$$
(2.3)

gdzie:  $\beta = \frac{G}{2}$  - współczynnik opóźnienie sprężystego.

(1)

Rozkład chwilówych przemieszczeń pionowych stropu bezpośrednio nad wybieranym pokładem opisany funkcją ciągłą (2.1-2.3) przedstawia schematycznie rys. 2.



Rys. 2

Występujący we wzorach parametr geometryczny a charakteryzuje pośred-"Aio przy ustalonych warunkach wybierania ściśliwość calizny węglowej, a jego zaiany przy niezmienności pozostałych parametrów obrazują zmianę tej ściśliwości. Parametr ten wyznaczać można mając pomierzoną wielkość obniżenia stropu na czole ściany  $z_c$  lub w dowolnym punkcie przed frontem przesuwającej się eksploatacji, wyliczając go każdorazowo dla określonego wybrania z formuły (2.1-2.3) dla  $x \ge Vt$ .

Jak wynika ze wzoru (2.1-2.3) im bardziej ściśliwy – mniej zwięzły pokład,tym w warunkach tego samego wybrania parametr a przybiera mniejszą wartość.

Rozwiązanie zadania oparto na równaniach i metodzie podanych przez H. Gile [3], które upraszczejąc równanie opieujące płaski stan odkeztałcenie w ośrodku sprężysto-lepkim o modelu "Standard" umożliwieją efektywne rozwiązanie płaskiego zadanie ze zmiennym w czesie warunkiem brzegowym. A mienowicie wychodząc z reologicznego równanie stanu dle ośrodke o modelu "Standard":

$$6_{1j} + n6_{1j} = 2GE_{1j} + 27E_{1j}$$

gdzie:

611 - dewiator naprężenia,

- E dewiator odkaztałcenia,
- G moduł sprężystości postaciowej,

7 - wepółczynnik lepkości,

kropką u góry oznaczono pochodne dewiatorów względem czasu,

n - czes relaksacji naprężań,

# Wpływ ściśliwości calizny węglowej....

Rozpisując to równanie, wykorzystując założenie nieściśliwości ośrodka, związki Cauchy'ego, wprowadzając podstawienie upraszczające [3], równanie równowagi i nierozdzielności odkeztałceń uzyskuje się prostazy układ 5 równań różniczkowych. Po wprowadzeniu do nich funkcji naprężeń dle ośrodka reologicznego spełniającej biharmoniczne równanie różniczkowe 4 rzędu obłożone drugę pochodną podług czesu, równanie te oraz warunki brzegowe w oparciu o prostę i odwrotną transformację Fouriere prowadzę do uzyskanie poszukiwanych rozkładów m.in. na naprężenie i odkeztałcenie w górotworze nad eksplostowanym pokładam.

Występujące w tych równaniach różnice całek [5] typu:

J et t bi dat

nie dają się wyrazić za pomocę funkcji elementernych.

Wykorzystując m.in. twierdzenia o różnicy funkcji zespolonych sprężonych ze sobą,całki te można wyrazić za pomocą funkcji specjalnej – wykładniczej, całkowej zmiennej zespolonej ziE.

 $E_1(z) = \int \frac{e^{-\gamma}}{\gamma} d\gamma \quad (|argz| < \tau)$ 

otrzymujęc wzory na ekładowa wektora przemieszczenia, tensorów naprężenia i odkształcenia oraz krzywizny i nachylania dla dowolnego punktu górotworu leżącego nad eksploatowanym pokładam przy uwzględnieniu geometrycznych parametrów eksploatacji, czasu i prędkości wybierania a także pośrednio ściśliwości calizny węglowej w postaci umożliwiającej dokonywanie za ich pomocę praktycznych obliczeń [5].

$$\begin{split} & \mathcal{G}_{z}(x',z,t) = \frac{GW_{0}a}{St} \left\{ -\frac{2\beta aV}{(\frac{1}{n})^{2} - (aV)^{2}} \operatorname{Re}\left[ (1 + \frac{z}{Vn} 1)e^{\frac{1}{Vn}(x'-1z)} \right] \\ & \operatorname{E}_{1}\left\{ \frac{1}{V_{n}}(x'-1z) \right\} + \frac{\beta}{\frac{1}{n} - aV} \operatorname{Re}\left[ (1 + az1)e^{a(x'-1z)} \operatorname{E}_{1}a(x'-1z) \right] + \frac{\beta}{\frac{1}{n} - aV} \operatorname{Re}\left[ (1 - az1)e^{-a(x'-1z)} \operatorname{E}_{1}\left\{ -a(x-1z) \right\} \right] \right\} \end{split}$$
(3)

(4)

$$\hat{e}_{x}(x',z,t) = -\hat{e}_{z}(x',z,t) = \frac{W_{0}e^{2}z}{2\pi} \left\{ -\frac{b^{2}}{p^{2}-(aV)} \Im_{m} \left[ -\frac{b}{\phi}(x'-1z) \right] \right\}$$

$$= \left\{ \frac{p}{v} (x'-iz) \right\} + \frac{p}{p-av} \Im \left[ e^{a(x'-iz)} E_{i} \left\{ a(x'-iz) \right\} \right]$$

+ 
$$\frac{\beta}{\beta + aV} \operatorname{Jn} \left[ e^{-\theta (x'-iz)} E_i \left\{ -\theta (x-iz) \right\} \right]$$

gdzie:

x' - wspóźrzędna bieżąca liczona od krawędzi czynnego frontu eksplostacji

 $x = x' + Vt_*$ 

3. ANALIZA WPŁYWU ŚCIŚLIWOŚCI CALIZNY WĘGLOWEJ NA ROZKŁAD NAPRĘŻENIA PIONOWEGO I ODKSZTAŁCEŃ W GÓROTWORZE W BABIEDZTWIE CZOŁA FRONTU ŚCIANOWEGO

W celu praktycznego wykorzystanie podanych wzorów opracowano program na maszynę cyfrowę aerii Odra 1300, umożliwiejęcy automatyzację obliczań po wprowadzeniu danych o eksploatecji.

Do obliczeń przyjęto:

- $\beta = \frac{1}{2} = \frac{1}{4} [rok]$ .
- G = 5886 00000 [N/m<sup>2</sup>],
  - W\_ = 1 [m],
  - V = 300 [m/rok].

Wpływ zmieny ściśliwości celizny uwzględniono wprowadzejąc do obliczeń odpowiednie wartości peremetru geometrycznego e wyliczone w eposób przybliżony z warunku brzegowego ne podstawie denych z kilku wybreń prowadzonych systemem ścienowym z podsadzką hydrauliczną i z pesemi podsadzkowymi z kamienie uzyskiwanego ze ślepych chodników (z = 0,30+0,1 [1/m] przy  $z_c = 2,5+20\% W_0$ ). Przykładowo rys. 3 i 4 obrazują rozkłady neprężeń pionowych w stropie wybieranego pokładu i 20 m powyżej przy założeniu różnej jego ściśliwości oraz przyjęciu zerowych osiadań nad celizną.

Z wykresów tych wynika, że znaczne różnice w wielkości naprężeń i charakterze ich rozkładu występują w sąsiedztwie czołe frontu ścianowego malejec szybko ze wzrostes pionowej i poziomej odległości od czołe ściany.



Wpływ ściśliwości calizny węglowej...







- ΔG<sub>Z</sub> pomiędzy rozkładami napr G<sub>Z</sub> przy załażeniu zerowega osiadania stropu nad calizną, i dla a=0.04 1/m
- ∆G<sub>Z</sub> pomiędzy rozkładami napr. G<sub>Z</sub> przy założeniu zerowego osiadania stropu nad calizną i dla a=0.09 1/m

 A G<sub>Z</sub> pomiędzy rozkładami napr. G<sub>Z</sub> przy a=0.09 1/m i dla a=0.04 1/m

Przy czym im bardziej ściśliwa calizna<sub>s</sub>tym naprężenia osiągaję mniejsze wartości a rozkład ich jest bardziej wyrównany. Na rys. 5 eę wykreślone rozkłady różnic maksymalnych naprężeń pionowych przed czołem frontu ścianowego ze wzrostem odległości z od pokładu przy różnej jego ściśliwości i przy założeniu o jego nieodkaztałcalności, a na rys. 6 wykreślono krzywe położenia maksymalnych wartości tych naprężeń nad calizną przed czołem ściany.



Rys.6 Krzywe położenia maksymalnych wartości naprężeń Gz przed czołem frontu ścianowego ze wzrostem odległości z od stropu pokładu przy różnej jego ściśliwości dla V=300m/rok

Z wykresów tych wynika, że różnica pomiędzy rozkładami naprężen przy różnej ściśliwości calizny maleje stopniowo ze wzrostem odległości pionowej od pokładu, natomiast różnice pomiędzy tymi rozkładami a rozkładami przy założeniu nieściśliwości calizny bardzo duże przy stropie maleję gwałtownie w miarę oddalania się od pokładu. Wpływ ściśliwości celizny węglowej...



Rys. 7 Rozkład maksymalnych odkształceń poziomych przed czotem frontu ścianowego ze wzrostem odległości z od pokładu przy różnej ściśliwości calizny dla V = 300m/rok, Vt =1000m

> \_\_\_\_\_ zerowe osiodanie stropu nad calizną \_\_\_\_\_ α=0.09 1/m \_\_\_\_\_ α=0.06 1/m

Nieuwzględnienie więc ściśliwości calizny ze względu na brak cięgłości funkcji na krawędzi wybrania prowadzi do znacznych zaburzeń w rozkładzie naprężeń tylko w bezpośrednim sąsiedztwie taj krawędzi. Uwzględniania ściśliwości calizny prowadzi, jak wynika z obliczań, do praktycznie istotnego obniżenie naprężeń ściekających nad caliznę w obszarze górotworu o promieniu prawdopodobnie do kilkunastu metrów licząc od krawędzi frontu ścienowego, przy czym obszar ten będzie tym większy im bardziej podatna na deformacje jest calizna węglowa.

Z kolei punkt, w którym naprężenia ściskające osięgają wartość maksymalną przesuwa się ze wzrostem ściśliwości od czoła ściany w głąb calizny.

Podobnie jak w odniesieniu do naprężeń pionowych kształtują się zależności w przebiegu rozkładów odkształceń przed czołem frontu ścienowego (rys. 7) przy różnej ściśliwości calizny węglowej wybieranego pokładu.

### 4. UWAGI KONCOWE

Wyprowadzone wzory opisujące rozkłady wskażników deformacji i naprężeń w górotworze nad eksploatowanym pokładem uwzględniające w sposób przybliżony charakter warstw stropowych, czas i prędkość wybierania oraz przemieszczenia pionowe stropu nad calizną pokładu możne wykorzystać praktycznie przy analizie stanu naprężeniowo-deformacyjnego górotworu w pobliżu krawędzi eksploatacyjnych. Uwzględnienie ściśliwości calizny węglowej obniża wartości naprężeń w pobliżu czołe ściany a ich maksimum ze wzrostem odkaztałcalności przesuwa się dalej w głęb calizny. Wskazuje to, że w warunkach wzmożonej koncentracji naprężeń oraz w pokładach tępięcych kerzystne jest rozpoczęcie wybierania w pokładzie najmniej zwięzłym.

# LITERATURA

- Biliński A.: Przejawy ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo z. 31, Gliwice 1968.
- [2] Borecki M., Chudek M.; Mechanika Górotwory, Wyd. Ślęsk, Katowice 1972.
- [3] Gil H.: Plane state of Strain of a Visco-elastic Body. Biul. Vol. XI, nr 7, 1963.
- [4] Gil H., Kraj W.: The Distribution of Displacements and atresses in a Rock in the Case of an Abandoned Working Face. Archiwum Górnictwa, T. XIX, z. 1, 1974.
- [5] Jaworski A.: Określenie rozkładu przemieszczeń, naprężeń i odkaztałceń w górotworze z uwzględnieniem ściśliwości calizny węglowej. Praca doktoraka, Gliwice 1978.
- [6] Knothe S.: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa z. 1, 1953.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zdzisław KŁECZEK

Wpłynężo do Redakcji w marcu 1984 r.

# Wpływ ściśliwości calizny węglowej...

ВЛИЯНИЕ СЖИМАЕМОСТИ УГОЛЬНОГО ЦЕЛИКА ВЫБИРАЕМОГО ЦВАСТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ГОРООБРАЗОВАНИИ В ЕЛИЗИ ДЕЙСТВУКЩЕГО ФРОНТА ЛАВОВОЙ РАЗРАБОТКИ

# Резрие

В статье, на базе аналитических рассуждений, показано формирование распределений напряжений и деформаций в горособразовании, причиной которых являются эксплуатация лавовой разработки, при установлении краевых условии, которые посредственно учитывают симмаемость угольного целика выбраемого пласта, при предположении определённого нертикального перемецения потолка, находящегося непосредственно над пластом перед действующим фронтом лавовой разработки.

THE EFFECT OF COMPRESSIBILITY OF UNMINED COAL OF THE EXTRACTED BED ON STRESS AND STRAIN DISTRIBUTION IN ROCK MASS IN THE VICINITY OF ACTIVE LONGWALL HEAD

## Summary

In the paper is shown, on the basis of analytical considerations, the shaping of stress and strain distributions in the rock mass, caused by longwall mining with fixed boundary conditions which, assuming the determined vertical displacements of the roof deposited directly over the bed in front of an active longwall head, indirectly take into consideration the compressibility of unmined coal of the extracted bed.

a allock provides portionally and distortable or ignore some

NAME AND ADDRESS OF A DESCRIPTION OF TAXABLE AND ADDRESS ADDRE