

Tadeusz MAJCHERCZYK, Piotr MAŁKOWSKI, Zbigniew NIEDBALSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków

Ocena przemieszczeń górotworu wokół wyrobiska korytarzowego z wykorzystaniem parametrów empirycznych

Streszczenie

W artykule przedstawiono metody oceny przemieszczeń konturu wyrobisk korytarzowych na podstawie zależności empirycznych. Uzyskane rezultaty konwergencji wyrobisk porównano następnie z wynikami pomiarów kopalnianych oraz z wynikami obliczeń numerycznych. Z analizy wynika, że rezultaty otrzymane ze wzorów empirycznych zbliżone są do wyników określonych innymi metodami. Dużą zaletą zależności empirycznych jest możliwość uwzględnienia w obliczeniach zmian przemieszczeń górotworu w czasie.

1. Wstęp

Wykonanie wyrobiska górniczego, zwłaszcza na dużej głębokości, powoduje zmianę pierwotnego stanu równowagi w górotworze, co w konsekwencji prowadzi do wypełnienia powstałej pustej przestrzeni odkształcającymi się skałami, chyba że proces ten zostaje ograniczony poprzez obudowę o odpowiednio dużej podporności (Gergowicz 1987).

Z badań *in situ* wynika, że przemieszczanie się czyli zaciskanie konturu wyrobiska korytarzowego objawia się poprzez obniżanie się warstw stropowych, wyciskanie spągu, jak również deformowanie się ociosów. Z powyższego można wnioskować, że proces zaciskania wyrobisk w czasie zachodzi z różnym nasileniem (Stachowicz i in. 1995). Ponadto zwiększenie głębokości zalegania wyrobiska korytarzowego powoduje zintensyfikowanie przemieszczeń jego konturu (Stachowicz i in. 2001). Wyrobiska będące w zasięgu wpływów eksploatacji podlegają dodatkowo wpływom ciśnienia eksploatacyjnego (Prusek, Kostyk 2003), wskutek czego zjawisko zaciskania przyjmuje charakter gwałtowny, wyrażający się nagłym ruchem skał w kierunku wyrobiska i zniszczeniem obudowy.

Dotychczasowe badania pozwalają na wyróżnienie głównych czynników wpływających na proces przemieszczania konturu wyrobiska, do których należy zaliczyć tak własności geo-mechaniczne górotworu, jak i warunki górniczo-geologiczne. Uwzględniając ww. czynniki w konsekwencji uzyskać można zależności do określania wielkości przemieszczeń konturu wyrobiska, tj. stropu i spągu, oraz ociosów w określonym przekroju wyrobiska.

W niniejszym artykule przedstawiono sposoby oceny przemieszczeń konturów wybranych wyrobisk korytarzowych. Uzyskane wartości przemieszczeń porównano z wynikami badań kopalnianych, tj. konwergencji, oraz z obliczeniami numerycznymi.

Wykonana analiza wskazuje, że przedstawione zależności mogą być wykorzystywane dla prognozy przemieszczeń konturu wyrobisk korytarzowych.

2. Przemieszczenie konturu wyrobiska korytarzowego

Zachowanie się wyrobiska korytarzowego znajdującego na dużej głębokości w otoczeniu skał o różnych własnościach strukturalnych i naprężeniowo-odkształceniowych jest zagadnieniem bardzo złożonym. Aktualnie brak jest metod analitycznych pozwalających na prognozę zaciskania się takiego wyrobiska, w szczególności takich, które pozwolą na określanie przemieszczania się jego konturu w długim okresie czasu.

Dla rozwiązania tego problemu mogą być wykorzystane metody półempiryczne. Uwzględniają one z jednej strony znane parametry górnicze lub własności geomechaniczne warstw skalnych otaczających wyrobisko, a jednocześnie korzystają z doświadczalnie wyznaczanych parametrów, których wartości pozwalają na dość dokładne ilościowe określenie szukanej wielkości. Istnieją metody, które w swych rozważaniach biorą pod uwagę czynnik czasu i zachodzącą propagację stref zniszczenia wokół wyrobiska oraz takie, które wskazują na wielkość i rozkład przemieszczeń górotworu tylko dla chwili obecnej.

Dotychczasowe doświadczenia w zakresie przemieszczeń górotworu wokół wyrobisk korytarzowych wskazują, że przy zastosowaniu analizy wymiarowej powinna ona objąć następujące wielkości:

- wymiary wyrobiska,
- ciśnienie górotworu,
- reakcję obudowy na przemieszczenie masywu,
- własności odkształceniowe (moduł sprężystości),
- wytrzymałość na ściskanie w masywie,
- wytrzymałość na ściskanie w strefie spękań.

Badając zagadnienia przemieszczeń konturu wyrobiska korytarzowego, w szczególności będącego na dużej głębokości, można założyć, że końcowe przemieszczenie dowolnej cząstki górotworu zależy od następujących wielkości:

$$u = f(\gamma \cdot H, E, \sigma_s, R_c, P, D) \quad (2.1)$$

gdzie:

u – przemieszczenie skał do wyrobiska,

D – wymiar wyrobiska, określony jego średnicą,

$\gamma \cdot H$ – ciśnienie górotworu,

P – reakcja obudowy na przemieszczenie masywu,

E – moduł sprężystości skał,

R_c – wytrzymałość penetrometryczna skał na ściskanie,

σ_s – wytrzymałość skał na ściskanie w górotworze w strefie spękań.

Zgodnie z zasadami analizy wymiarowej pomiędzy ww. parametrami powinna występować następująca zależność:

$$\frac{u}{D} = \Phi\left(\frac{\gamma \cdot H}{R_c} k; \frac{P}{\sigma_s}; \frac{\gamma \cdot H}{E}\right) \quad (2.2)$$

gdzie:

k – parametr naturalnej podatności masywu w strefie spękań $k = 1 \div k_o$, k_o – współczynnik rozluźnienia skał.

Po wprowadzeniu pewnych założeń upraszczających oraz po przekształceniu, zależność określająca wielkość przemieszczeń przyjmuje postać:

$$u = b \frac{D}{\sigma_s} \left[\sqrt{1 + \frac{c\gamma H k \sigma_s^3}{b^2 R_c^2 P^2} 3(1-2\nu)(1-e^{-At})} - 1 \right] \quad (2.3)$$

Współczynniki A , b i c są wielkościami wyznaczanymi empirycznie z obserwacji kopalnianych. Współczynnik A określa się na podstawie zmiany wartości przemieszczeń górotworu wokół wyrobiska, a wartości współczynników b i c zależą od warunków utrzymania wyrobiska.

Należy zauważyć, że zwiększając obciążenie ze strony górotworu w stronę granicy strefy zniszczenia, zmniejsza się intensywność zniszczenia i ogranicza jego rozwój w głąb masywu, co korzystnie wpływa na zmniejszenie przemieszczeń konturu wyrobiska. Odwrotnie – zmniejszając obciążenie, tj. zwiększając zasięg strefy odprężonej w kierunku granicy strefy zniszczenia, stwarzamy sprzyjające warunki dla tworzenia się i rozwoju szczelin i powiększania się strefy zniszczenia wokół wyrobiska. Przyczynia się to jednocześnie do zwiększania intensywności przemieszczeń.

Wykorzystując zależność (2.3), zakłada się pewną jednorodność górotworu na kierunku pionowym i poziomym, jednakże istnieje możliwość szacowania propagacji zniszczenia górotworu wokół wyrobiska i zmian wartości przemieszczeń w czasie.

Przyjmując inny model zachowania się górotworu wokół wyrobiska korytarzowego, założono, że gęsta sieć spękań powstaje bezpośrednio wokół wyrobiska i tworzy tzw. strefę zniszczenia lub strefę uplastycznienia. W dalszej odległości od konturu wyrobiska spękania przechodzą w mikrospełkania, które nie zaburzają ciągłości ośrodka i górotwór nadal może być traktowany jako ośrodek ciągły i sprężysty (Szaszenko, Pustowojtjenko 2003).

Oszacowanie zasięgu strefy spękań, czyli strefy uplastycznienia, daje możliwość określenia objętości zruszonych skał i ich potencjalnej możliwości przesunięcia się w stronę wybranej przestrzeni wyrobiska. Oprócz własności wytrzymałościowych i odkształceniowych górotworu zasięg strefy uplastycznienia będzie od wymiarów wyrobiska.

Zgodnie z powyższymi rozważaniami zaproponowano następujący sposób określania wartości przemieszczeń skał wokół wyrobiska (Karamanic 2004; Szaszenko i in. 2005):

$$u = R_w \cdot \varepsilon_v \cdot \left(0,5 - \frac{r_{pl}^2 \cdot \ln(r_{pl})}{r_{pl}^2 - 1} \right) \quad (2.4)$$

gdzie:

R_w – promień wyrobiska [m],

ε_v – odkształcenie objętościowe,

r_{pl} – bezwymiarowy parametr równy $r_{pl} = R_L / R_w$, przy czym R_L – promień zasięgu strefy plastycznej.

Zasięg strefy uplastycznienia r_{pl} jest parametrem empirycznym, który zależy od zachowania się danego rodzaju górotworu pod wpływem działalności górniczej. Można go określać

na przykład na podstawie badań endoskopowych lub geofizycznych, wykonując pomiary w dowolnym kierunku względem konturu wyrobiska lub też można w tym celu wykorzystywać np. obliczenia numeryczne.

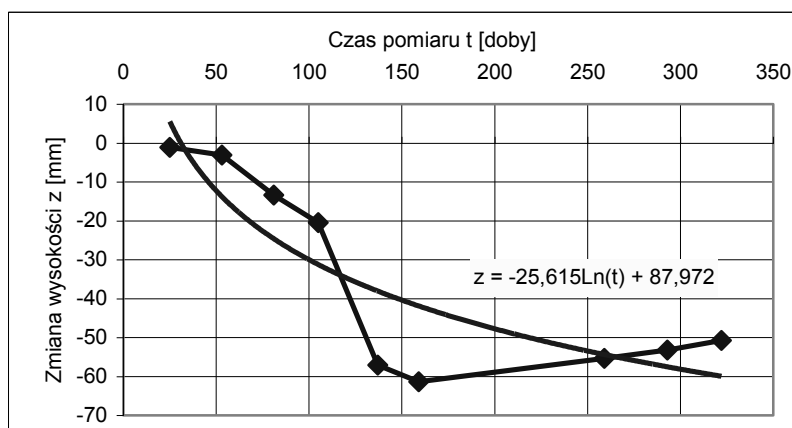
3. Obliczenia przemieszczeń konturu wyrobiska

3.1. Analiza wymiarowa i badania kopalniane

Ponieważ analiza wymiarowa daje możliwość oceny intensywności przemieszczeń warstw skalnych w czasie, obliczenia analityczne wykonano dla konkretnej sytuacji górniczo-geologicznej, a więc dla wyrobiska, gdzie prowadzono pomiary konwergencji.

Pomiary konwergencji przeprowadzono w wyrobisku znajdującym się na głębokości 920 m, o kształcie łukowym z zastosowaną obudową ŁP9 o kształtowniku V29. W wyrobisku wydzielono dwa odcinki badawcze, w których zastosowano różny rozstaw obudowy. Na odcinku I obudowę stawiano w odstępach 1,2 m, a na odcinku II obudowa stawiana była z krokiem 1,5 m. Na każdym z odcinków, które miały długość ok. 120 m, zabudowano odpowiednio 10 i 11 baz do pomiaru konwergencji w średnich odstępach ok. 10 m. Pomiary wykonywano przez okres 322 dni.

Na rysunkach 3.1 i 3.2 pokazano średnie zmiany wysokości wyrobiska w czasie wraz z liniami trendu dla wszystkich baz pomiarowych I i II odcinka. Z rys. 3.1 wynika, że zmiany w pionowym zaciskaniu wyrobiska są nieregularne i po gwałtownym zmniejszeniu wysokości w pierwszym okresie pomiarów następuje liniowy, niewielki przyrost wysokości. Można powiedzieć, że maksymalne zmniejszenie wysokości wyrobiska jest stosunkowo niewielkie, bo w czasie niemal rocznych pomiarów osiągnęło wartość ok. 60 mm, niemniej jest ono narastające i osiąga swą maksymalną wartość po ok. 150 dniach od wydrążenia wyrobiska.

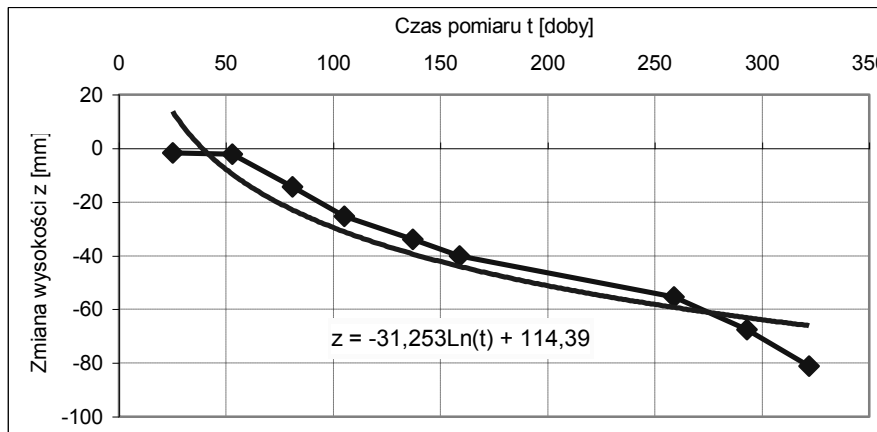


Rys. 3.1. Średnie zmiany wysokości wyrobiska w czasie dla odcinka pomiarowego nr I
Fig. 3.1. Average changes of the heading's height in time for the measurement section no. I

Analizując średnie zmiany wysokości wyrobiska w czasie dla drugiego odcinka pomiarowego (rys. 3.2) można stwierdzić, że zmiany, choć są również nieregularne, mają w przybliżeniu charakter liniowy. Jest to całkowicie odmienny charakter przemieszczeń konturu

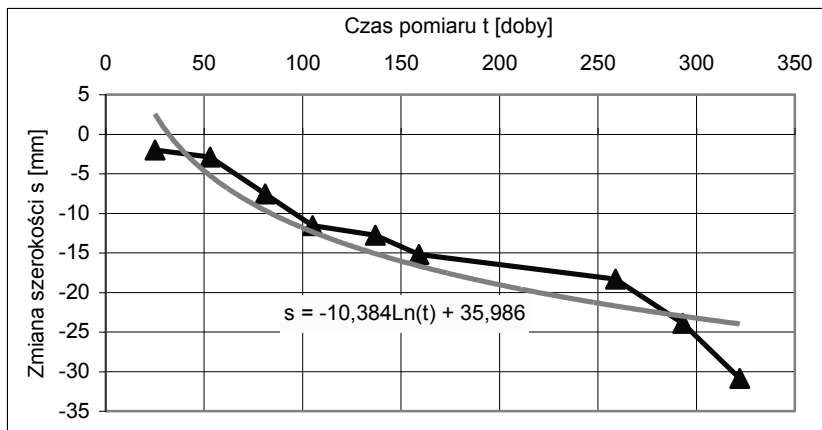
wyrobiska niż dla odcinka I. Również średnie zwiększenie wysokości po 322 dobach było większe i wyniosło 81 mm. Na przytoczone zmiany miał niewątpliwie wpływ większy rozstaw odrzwi obudowy odcinka nr II oraz nieco odmienna litologia w stropie i własności geomechaniczne skał otaczających wyrobisko.

Dla drugiego odcinka pomiarowego logarytmiczna linia trendu została dopasowana do uzyskanych wartości pomiarów w 88% wobec 75% korelacji (współczynnik regresji r^2) z wartościami uzyskanymi dla pierwszego odcinka pomiarowego.



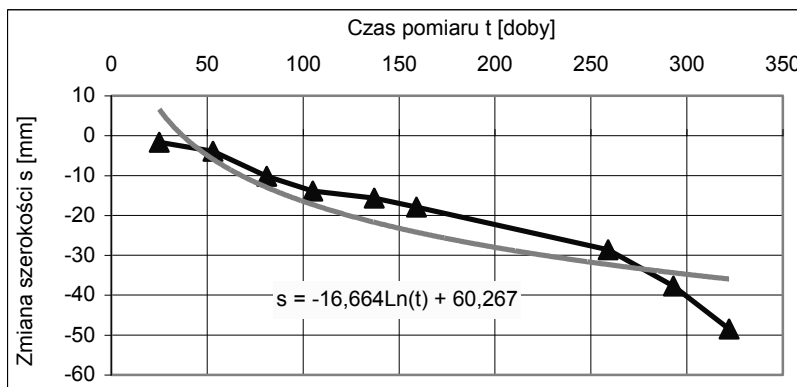
Rys. 3.2. Średnie zmiany wysokości wyrobiska w czasie dla odcinka pomiarowego nr II
Fig. 3.2. Average changes of the heading's height in time for the measurement section no. II

Analizując średnie zmiany szerokości wyrobiska dla obu analizowanych odcinków badawczych można stwierdzić, że jakościowo są one bardzo podobne (rys. 3.3, rys. 3.4).



Rys. 3.3. Średnie zmiany szerokości wyrobiska w czasie dla odcinka pomiarowego nr I
Fig. 3.3. Average changes of the heading's width in time for the measurement section no. I

Warstwy ociosowe na pierwszym odcinku pomiarowym (rys. 3.3) ulegają powolnym i stosunkowo niewielkim odkształceniom (średnie zmniejszenie szerokości po 322 dobach wyniosło niespełna 31 mm), a zmiany mają w przybliżeniu charakter liniowy, lecz mogą zostać również opisane funkcją wykładniczą. W przypadku odcinka nr II zanotowano większe średnie zmniejszenie szerokości wyrobiska, które po 322 dobach wyniosło 48,5 mm. W obu przypadkach współczynnik regresji r^2 dla linii trendu wynosił ok. 85%.



Rys. 3.4. Średnie zmiany szerokości wyrobiska w czasie dla odcinka pomiarowego nr II
 Fig. 3.4. Average changes of the heading's width in time for the measurement section no. II

Wykonane pomiary kopalniane zestawiono z wynikami obliczeń analitycznych przemieszczeń konturu wyrobiska w oparciu o analizę wymiarową (Majcherczyk i in. 2003). Wartości analityczne określono wykorzystując reakcję obudowy P dla wielkości odrzwi stosowanej w wybranym wyrobisku (ŁP9) oraz dla parametrów b i c określanych dla nowo drążonego wyrobiska oddzielnie dla stropu i ociosu. Dane do obliczeń zamieszczono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1.
Table 3.1.

Dane do obliczeń przemieszczeń dla odcinków pomiarowych I i II
 Data for displacement computations for the the measurement sections I and II

Parametr	Oznaczenie i jednostka	Odcinek I	Odcinek II
Głębokość	H [m]	920	920
Wytrzymałość penetrometryczna na ściskanie	R_c [MPa]	46,714	41,579
Wytrzymałość masywu skalnego na ściskanie	σ_c [MPa]	6,053	5,622
Ciężar objętościowy skał nadległych	γ [MN/m ³]	0,025	0,025
Reakcja obudowy na przemieszczenia masywu skalnego	P [MPa]	0,065	0,050
Moduł sprężystości podłużnej skał	E [MPa]	4858	4470
Parametr naturalnej podatności w strefie spękań	k [-]	4,0	4,0
Współczynnik Poissona	ν [-]	0,26	0,26
Współczynnik wpływu czasu na rozwój przemieszczeń	A [-]	0,0013	0,0013
Współczynnik I – strop	b_s [-]	2,5	2,5
Współczynnik II – strop	c_s [-]	4,5	4,5
Współczynnik I – ocios	b_o [-]	1,9	1,9
Współczynnik II – ocios	c_o [-]	1,5	1,5

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń uzyskano przemieszczenia konturu wyrobiska na obu odcinkach pomiarowych, które zamieszczono w tabeli 3.2 wraz z porównaniem uzyskanych wartości z pomiarami kopalnianymi. W tabeli przedstawiono także prognozowane wartości przemieszczeń pomiędzy stropem i spągami oraz pomiędzy ociosami dla 600 dni i 1000 dni po zakończeniu drążenia wyrobiska.

Na podstawie tabeli 3.2 można stwierdzić, że obliczenia wykonane na podstawie zależności (2.3) wykazują rozbieżności jedynie dla krótkich okresów czasu pomiaru. Ze względu na charakter funkcji opisującej wartości przemieszczeń, która zakłada narastanie zjawiska, w obliczeniach analitycznych nie ma możliwości prognozowania zaciskania się warstw skalnych. Doświadczenia oraz pomiary wykonane na pierwszym odcinku pomiarowym (rys. 3.1) wskazują, że sytuacje takie mogą mieć miejsce, a fakt ten zależy przede wszystkim od własności otaczającego wyrobisko górotworu i naturalnej sieci spękań.

Generalnie jednak po 322 dniach pomiaru wartości prognozowanych przemieszczeń zgdzają się z wartościami pomierzonymi. Dla pierwszych trzech miesięcy prognozowane przemieszczenia są zawyżone 2,5–3-krotnie, lecz już dla 5-miesięcznego okresu prognoza różni się nie więcej niż 40–50% od wartości pomierzonych. Metoda prognozy oparta o analizę wymiarową będzie się zatem sprawdzać dla wyrobisk utrzymywanych w długim okresie czasu.

Porównanie wyników obserwacji przemieszczeń konturu wyrobiska na odcinkach pomiarowych I i II z obliczeniami analitycznymi

Tabela 3.2.

Comparison of results of observing the displacement of the heading's contour in the measurement sections I and II with analytic computations

Table 3.2.

Czas obserwacji / prognozy [doby]	Przemieszczenie u [mm]			
	z pomiarów		z obliczeń	
	strop – spąg	ociosy	strop – spąg	ociosy
Odcinek I				
81	13,333	7,556	29,275	16,554
159	61,311	15,222	40,730	23,159
250	57,879	18,333	50,082	28,555
322	50,778	30,889	55,823	31,868
600	–	–	70,761	40,489
1000	–	–	82,329	47,166
Odcinek II				
81	14,42	10,20	41,851	23,780
159	40,20	17,89	57,986	33,089
250	55,35	28,61	71,154	40,689
322	81,19	48,52	79,237	45,354
600	–	–	100,269	57,494
1000	–	–	116,555	66,896

3.2. Zasięg strefy uplastycznienia i obliczenia numeryczne

W chwili obecnej dla określania stref zniszczenia czy też przemieszczenia, znacznie częściej wykorzystuje się metody numeryczne, a wśród nich szczególnie metodę elementów skończonych. W artykule określono zatem wartość prognozowanych przemieszczeń wokół wyrobiska korzystając z obliczeń numerycznych, którą następnie zweryfikowano metodą analityczną opartą na ocenie zasięgu strefy uplastycznienia.

Dla wykonania obliczeń przyjęto następujący tok postępowania: dla wybranych modeli obliczeniowych, zakładając różną litologię warstw skalnych i różne ich własności geomechaniczne, przeprowadzono obliczenia numeryczne, po czym na podstawie otrzymanych wyników określono zasięg stref spękań i wykonano obliczenia analityczne przemieszczeń konturu wyrobiska metodą analityczną.

W modelu numerycznym przyjęto, że wyrobisko zlokalizowane jest na głębokości 1050 m, a własności wytrzymałościowo-odkształceniowe warstw przedstawiono w tabeli 3.3. Wymiary wyrobiska odpowiadają obudowie ŁP11 o rozstawie odrzwi 1,0 m. Obudowę stalową zamodelowano w postaci elementów prętowych, przyjmując wytrzymałość na rozciąganie $R_r = 350$ MPa, moduł Younga $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa, $\nu = 0,3$.

W modelu przyjęto dla jednego wyrobiska trzy warianty obliczeniowe, wynikające ze zmiany układu warstw, tektoniki oraz warunków górniczych.

W **wariancie I** założono, że od spągu wyrobiska zalega w ociosach 2,1 m łupku ilastego i 2,0 m łupku piaszczystego. Strop bezpośredni pokładu stanowi 1,5 m warstwa węgla, a dalej kolejno zalega: 3,0 m łupku ilastego, 8,0 m łupku piaszczystego, 1,0 m węgla, a powyżej łupek ilasty. Spąg pokładu stanowi łupek ilasty (6,0 m). Pod nim zalega cienka warstwa piaskowca (1,5 m), a poniżej kolejno: 7,5 m piaskowca, 3,0 m łupku piaszczystego i 2 m piaskowca.

Tabela 3.3.

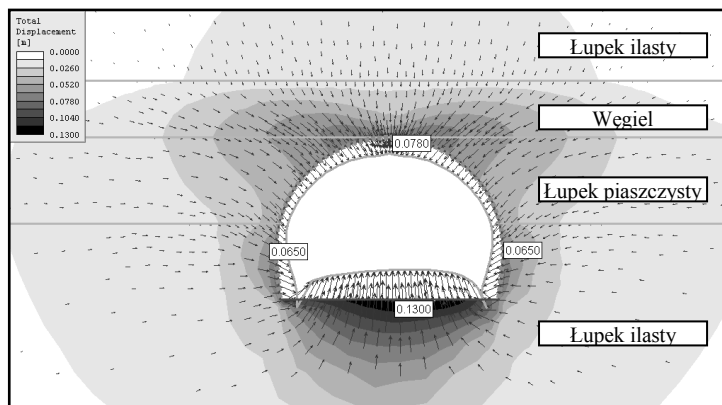
Własności warstw skalnych przyjęte do obliczeń numerycznych

Table 3.3.

Qualities of rock mass layers assumed for the sake of numerical computations

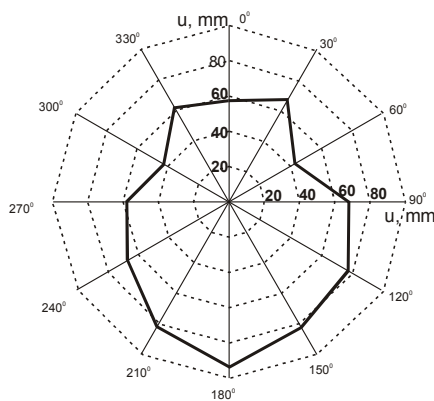
Rodzaj skały	Moduł Younga, E , [MPa]	Współczynnik Poissona, ν	Wytrzymałość na ściskanie, R_c [MPa]	Stała kryterium Hoek'a-Browna „m”	Stała kryterium Hoek'a-Browna „s”
węgiel	1778	0,30	13,39	0,3446	0,00014
łupek ilasty	4217	0,30	53,69	0,6869	0,00073
łupek piaszczysty	7498	0,25	72,27	1,2623	0,00222
piaskowiec	10592	0,23	78,01	1,9115	0,00432

Na podstawie zamieszczonej mapy przemieszczeń (rys. 3.5) można stwierdzić, że największe przemieszczenia, rzędu 0,13 m wystąpić mogą w spągu wyrobiska. Znacznie mniejszych przemieszczeń spodziewać się można w stropie chodnika, ale zasięg tych zwiększonych przemieszczeń sięgać może 2,5÷3,0 m w głąb górotworu w kierunku ociosów.



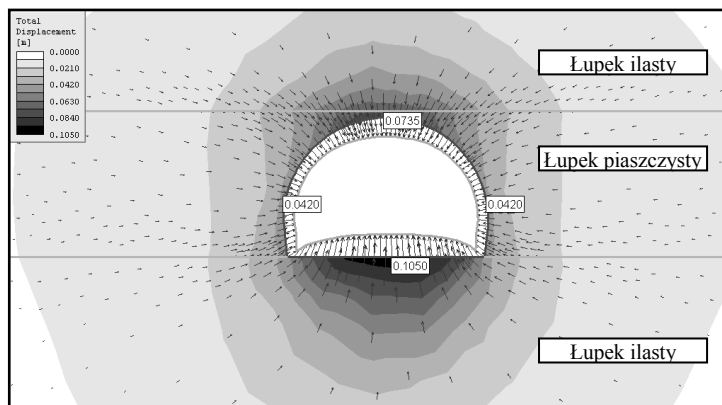
Rys. 3.5. Mapa przemieszczeń wokół chodnika w wariantcie I
Fig. 3.5. Map of displacements around the heading in option I

Rozległe przemieszczenia w stropie bezpośrednim wyrobiska są efektem występowania warstwy węgla o niskich parametrach odkształceniowych. Wartości przemieszczeń określono też na podstawie wzoru (2.4). Wyniki przedstawiono na rys. 3.6, gdzie wartości przemieszczeń konturu wyrobiska podano co 30°. Z rysunku wynika, że przemieszczenia uzyskane w oparciu o zależności empiryczne są dość zbliżone do tych uzyskanych numerycznie. Największą wartość przemieszczenia uzyskano w spągu i sięga ona niemal 100 mm. Najmniejsze wartości przemieszczeń uzyskano w górnej części ociosów i w stropie wyrobiska, gdzie wartości wahają się od 42 mm do 67 mm. Porównując wyniki obliczeń empirycznych i analitycznych, stwierdzić należy, że dają one bardzo zbliżone wyniki jakościowo, jednak w obliczeniach empirycznych wartości są nieco niższe.



Rys. 3.6. Przemieszczenia wokół chodnika w wariantcie I
Fig. 3.6. Displacements around the heading in option I

W **wariantcie II** założono, że od spągu wyrobiska zalega w ociosie łupek piaszczysty. Strop bezpośredni pokładu stanowi warstwa łupku ilastego (8,0 m), a dalej kolejno zalega: 2,0 m piaskowca, 7,0 m łupku piaszczystego, 2,0 m węgla, a powyżej łupek ilasty.

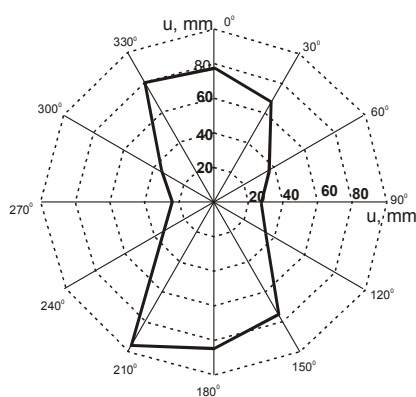


Rys. 3.7. Mapa przemieszczeń wokół chodnika w wariantcie II
 Fig. 3.7. Map of displacements around the heading in option II

Spąg pokładu stanowi łupek ilasty (11,0 m). Pod nim zalega warstwa łupku piaszczystego (3,0 m), a poniżej kolejno: 3,0 m węgla i 5,0 m łupku ilastego. Ponadto założono zmniejszenie wszystkich parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych dla poszczególnych warstw skalnych o współczynnik 0.65. Jest to wynikiem spodziewanego osłabienia górotworu w rejonie dużej strefy uskokowej. Dodatkowo zwiększono naprężenia pierwotne o 4 MPa do wartości 30,25 MPa, niż by to wynikało z głębokości 1050 m i średniego ciężaru 0,025 kN/m³.

W oparciu o przeprowadzone obliczenia (rys. 3.7) należy stwierdzić, że wokół wyrobiska spodziewać się można strefy przemieszczeń na poziomie 0,07 m równomiernie rozłożonej wokół ociosów i stropu. Jedynie w spągu wyrobiska, gdzie nie występuje odpór obudowy, przemieszczenia te są większe i dochodzą do 0,10 m.

Wyniki obliczeń analitycznych wskazują, że największą wartość przemieszczeń uzyskano w spągu i stropie wyrobiska a waha się ona od 70 mm do 95 mm (rys. 3.8). Najmniejsze wartości przemieszczeń uzyskano w ociosach, gdzie ich wartości wynosiły 30÷40 mm. Są to wartości zbliżone do tych uzyskiwanych drogą obliczeń numerycznych.



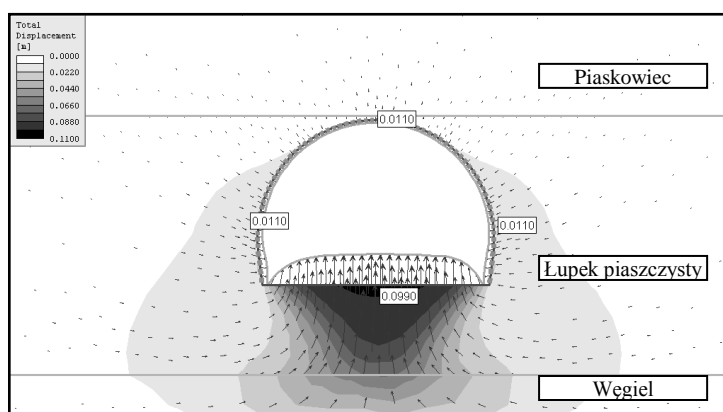
Rys. 3.8. Przemieszczenia wokół chodnika w wariantcie II
 Fig. 3.8. Displacements around the heading in option II

W **wariancie III** założono, że w ociosach występuje łupek piaszczysty. Strop bezpośredni pokładu stanowi warstwa piaskowca (5,6 m), a dalej kolejno zalega: warstwa 1,5 m węgla, 12,0 m łupku piaszczystego, 1,0 m węgla, a powyżej łupek piaszczysty.

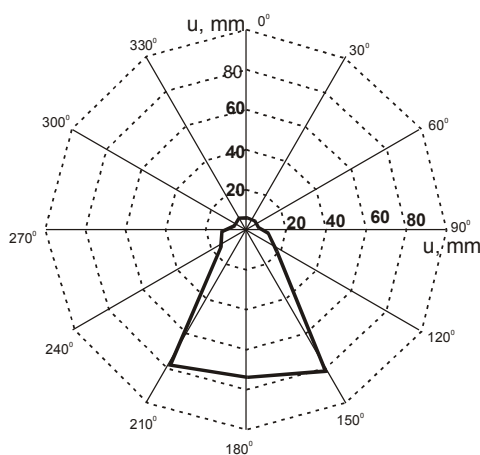
Spąg pokładu stanowi łupek piaszczysty (2,3 m). Pod nim zalega warstwa węgla (1,7 m), łupku piaszczystego (4,2 m), a poniżej warstwa 9,6m piaskowca oraz łupek piaszczysty.

Na podstawie obliczeń stwierdzono, że można spodziewać się przemieszczeń tylko w spągu wyrobiska, a wynosić one mogą około 0,11 m (rys. 3.9). W związku z występowaniem w stropie sztywnej warstwy piaskowca, przemieszczenia wynoszą około 10 mm.

Wyniki obliczeń analitycznych potwierdzają rezultaty uzyskane z obliczeń numerycznych. Najmniejszej wartości przemieszczeń około 5 mm spodziewać się można w stropie (rys. 3.10), a największej w spągu, gdzie przemieszczenia uzyskać mogą wartość 80 mm. W ociosach wyrobiska również spodziewać się można niewielkich przemieszczeń, tj. nie przekraczających 20 mm.



Rys. 3.9. Mapa przemieszczeń wokół chodnika w wariancie III
Fig. 3.9. Map of displacements around the heading in option III



Rys. 3.10. Przemieszczenia wokół chodnika w wariancie III
Fig. 3.10. Displacements around the heading in option III

4. Podsumowanie

1. Ocena przemieszczeń wokół wyrobisk korytarzowych na drodze analitycznej możliwa jest przede wszystkim w oparciu o zależności empiryczne. Pozwalają one na określenie rzeczywistych wartości przemieszczeń, ale jedynie w warunkach górniczo-geologicznych, dla których określono parametry geomechaniczne.
2. Zaprezentowany sposób empirycznej oceny konwergencji wyrobiska korytarzowego może być weryfikowany dwoma metodami. Pierwsza z nich to metoda szacunkowa, jaką jest niewątpliwie metoda obliczeń numerycznych, a druga metoda oparta jest na pomiarach konwergencji.
3. Wyznaczenie wartości przemieszczeń, czy to na drodze analitycznej, czy to na drodze obliczeń numerycznych, niesie ze sobą pewną niedokładność, wynikającą z niedostatecznej znajomości warunków górniczo-geologicznych dla projektowanego wyrobiska.
4. Metody numeryczne dają większe możliwości obliczeń, pozwalają bowiem sprawniej ocenić znaczną liczbę modeli. Metody empiryczne pozwalają natomiast na dokładniejszą ocenę konwergencji, zwłaszcza w rejonach, dla których określono stałe do zależności empirycznych.

Literatura

- [1] Gergowicz Z. 1987: Ciśnienie górotworu na obudowę wyrobisk zlokalizowanych na dużych głębokościach. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej, seria Górnictwo z. 145.
- [2] Karamanic F.I. 2004: Komputerowe modelowanie uprugoplasticznego deformowania kontura przygotowawczej wyrobki. Ukraińsko-Polskie Forum Górnicze, Jałta – Krym 2004, 226–231.
- [3] Majcherczyk T., Małkowski P., Niedbalski Z. 2003: Ocena stateczności wyrobisk udostępniających na dużej głębokości. Prace statutowe AGH (niepubl.).
- [4] Prusek S., Kostyk T. 2003: Prognoza zaciskania chodników przyścianowych. Miesięcznik WUG, nr 1, 8–14.
- [5] Stachowicz S., Korzeniowski W., Kosonowski J., Kozek B. 2001: Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobisk korytarzowych w warunkach ciśnień deformacyjnych w kopalni „Bogdanka”. Wiadomości Górnicze nr 6, 244–251.
- [6] Stachowicz S., Kosonowski J., Kozek B. 1995: Charakterystyka zaciskania wyrobisk korytarzowych kamiennych w kopalni „Bogdanka”. Wiadomości Górnicze nr 4, 165–169.
- [7] Szaszenko A.N., Majcherczyk T., Sdwiżkowa E.A. 2005: Geomechanickie procesy w parodnych masiwach, Narodowy Uniwersytet Górniczy, Dniepropietrowsk .
- [8] Szaszenko A.N., Pustowojtjenko W.P. 2003: Mechanika gomych parod, Nowij Druk, Kijów.

Evaluation of rock mass displacement around a heading using empiric parameters

The paper presents methods of evaluating displacement of the contour of headings on the basis of empiric relationships. The results of heading convergence have been compared with the results of coal-mine measurements as well as with the results of numerical computations. The analysis proves that the results obtained from the empiric formulae are approximate to the results determined with the application of other methods. What is a great benefit of using empiric relationships is a possibility of taking the changes of rock mass displacement in time under consideration in computations.

Przekazano: 10 kwietnia 2006 r.