

Krzysztof TOMICZEK

Politechnika Śląska, Gliwice

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni

KRÓTKA NUMERYCZNA ANALIZA WPLYWU PRĘDKOŚCI EKSPLOATACJI NA DEFORMACJE GÓROTWORU I POWIERZCHNI TERENU

Streszczenie. Posługując się programem metody różnic skończonych FLAC2D v. 3.22 przeprowadzono symulację numeryczną eksploatacji pokładu 352, prowadzonej w KWK „Staszic”, systemem ścianowym z zawalem stropu w polu wybierkowym 1003, o długości 1260 m. Badano wpływ prędkości eksploatacji tego pokładu na deformacje górotworu i powierzchnię terenu.

SHORT NUMERICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE FACE ADVANCE OF MINING EXPLOITATION ON THE SURFACE AND STRATA DEFORMATIONS

Summary. On the basis of the numerical FLAC2D model in the field of Staszic Coal Mine, the influence of two different face advances of mining exploitation on the deformations and strata behavior has been discussed.

1. Wprowadzenie

Ruchy górotworu zaczynają się z chwilą rozpoczęcia eksploatacji złoża, a po upływie pewnego czasu ujawniają się na powierzchni ziemi. Czas ujawnienia się wpływów eksploatacji zależy od wielu czynników: głębokości eksploatacji, własności wytrzymałościowych i reologicznych skał, sposobu kierowania stropem, wielkości wyeksploatowanej powierzchni i prędkości eksploatacji. Bezpośrednimi skutkami działalności górniczej są szkody w środowisku naturalnym (zmiana rzeźby terenu, degradacja gleb, naruszenie struktury wód głębinowych i powierzchniowych), infrastrukturze

przemysłowej i komunalnej (uszkodzenia urządzeń i obiektów budowlanych, sieci komunikacyjnych, wodociągowych i energetycznych).

Przy wyznaczaniu spodziewanych przemieszczeń wpływ czynnika czasu był z reguły uwzględniany przez wprowadzenie do wzorów na wielkości przemieszczeń *współczynnika czasu*, określającego stosunek obniżenia chwilowego do maksymalnego obniżenia końcowego, w zależności od czasu, jaki upłynął od dokonania eksploatacji.

Z czynnikiem czasu związany jest też wpływ postępu, czyli prędkości przesuwania się frontu eksploatacyjnego, na zjawiska zachodzące w górotworze oraz na kształtowanie się niecki obniżeniowej i wartości deformacji terenu.

W ostatnich kilkunastu latach zagadnienie wpływu prędkości eksploatacji na deformacje górotworu oraz powierzchni terenu znajduje na nowo zainteresowanie i było/jest przedmiotem szeroko zakrojonych badań (por. prace m.in. J. Białka, B. Drzęźli, J. Rogowskiej, A. Sroki i in.).

W celu ochrony powierzchni terenu oraz budowli naziemnych i podziemnych, konieczne staje się zbadanie jak zachowuje się górotwór, gdy wyrobiska eksploatacyjne prowadzone są w nim z *dużymi* prędkościami.

Celem badań numerycznych było poznanie i opisanie zjawisk zachodzących w górotworze, w otoczeniu ścianowych wyrobisk eksploatacyjnych, w pokładach węgla wybieranych z dwiema różnymi prędkościami. Badania przeprowadzono na konkretnym przykładzie eksploatacji pokładu 352 w KWK „Staszic”. Dokonano symulacji eksploatacji pokładu 352 wybieranego z zawałem warstw stropowych, z dwiema prędkościami: pierwszą „małą” i drugą „dużą”, tzn. dziesięciokrotnie większą od prędkości „małej”. Obliczeń dokonano opierając się na metodzie różnic skończonych, korzystając z programu komputerowego FLAC v. 3.23. Są one kontynuacją badań nad zachowaniem się górotworu w sąsiedztwie wyrobisk eksploatacyjnych rozpoczętych w 1992 roku, w pracowni modelowania numerycznego Laboratorium Mechaniki Skał w Katedrze Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, rozpoczętych i prowadzonych przez Kwaśniewskiego i Wanga.¹

¹ Pierwszy „bazowy” model górotworu powstał w 1993 roku na potrzeby prac badawczych wykonywanych w Laboratorium Mechaniki Skał KGBPiOP, w ramach projektu celowego nr 231/CS6-9/92 pt. *Wysokowydajny kompleks ścianowy i nowa technologia wybierania węgla w KWK „Staszic”*. Jego twórcami byli M. Kwaśniewski i J. Wang. W kolejnych latach model numeryczny pola L KWK „Staszic” był rozwijany przez Autorów.

2. Warunki naturalne i techniczne eksploatacji pokładu 352 w KWK „Staszic”

Złoże KWK „Staszic” usytuowane jest na południowym skrzydle siodła głównego o kierunku rozciągłości warstw zgodnym z kierunkiem przebiegu siodła NW-SE. Upad warstw, skierowanych w kierunku SW, wynosi 3-7°.

Górotwór zbudowany jest z utworów czwartorzędowych (soczewkowato wykształcone, naprzemianległe warstwy szarych glin zwałowych, piaski drobno- i średnioziarniste z lokalnymi laminami żwirów, gliny piaszczyste, mułki, ily) i karbońskich (warstwy orzeskie, rudzkie, siodłowe i porębskie). W skład warstw orzeskich, oprócz pokładów węgla 334, 350 i 352, wchodzi naprzemianległe, cienkowarstwowane łupki ilaste i piaszczyste oraz liczne cienkie pokłady węgla i warstwy piaskowca zerodowane i niekompletne, od pokładu 327 do 364. Miąższość warstw orzeskich zmienia się od 300 m w części północnej do 450 m w części południowej obszaru górniczego KWK „Staszic”.

Pokłady węgla są zmienne z licznymi ścienieniami i wyklinowaniami. W stropie i spągu występują warstwy łupkowo-ilaste. Łupki piaszczyste przechodzą miejscami w drobnoziarniste piaskowce, z równoczesnymi ścienieniami pokładów. Ich udział w warstwach orzeskich dochodzi do 20%. Największe zapiaszczenie występuje w profilu między pokładami 344 i 352.

Pokład 352 zalega na głębokości od 465 m na północy do 580 m na południu, ma miąższość równą średnio 2,1 m, jest pokładem nietapiącym i cechuje go niejednorodność w polu eksploatacyjnym ściany 1003. W stropie tego pokładu, na wybiegu ściany 1003 występuje kompleks łupków ilastych i zapiaszczonych, pojawiają się także dwa pozabilansowe pokłady węgla – w stropie bezpośrednim oraz w odległości 18-20 m. W spągu pokładu zalegają łupki ilaste i piaszczyste z wkładkami piaskowca, przedzielone warstewkami węgla o grubości do 0,3 m.

Nad pokładem 352 w odległości 40 m zalega pokład węgla 350 o miąższości 3,5 m, a na głębokości 290 m pokład 334 o grubości 1,8 m, eksploatowany przez KWK „Murcki”.

W złożu brak zaburzeń poza uskokami dzielącymi masę na bloki tektoniczne. Ich wiek jest różny, ale uskoki starsze mają przebieg południkowy – NS („Wojciech”, „Jakub”, „Zuzanna”, „Mysłowicki”), młodsze równoleżnikowy – NE („Południowy”, „Wesoła”, „Stanisław”).

Rejon pokładu 352, eksploatowany ścianą 1003, otoczony jest uskokami: od północy „Kłodnickim” o zrzucie do 60 m, a od wschodu uskokiem „Jakub” o zrzucie 30 m. Od południa ogranicza go obszar górniczy KWK „Murcki”.

Zarówno uskok „Wojciech”, jak i „Jakub” są uskokami normalnymi, stromymi o nachyleniu odpowiednio 70° i 60° . Są to uskoki zabliźnione, szczelnie wypełnione druzgotem spojonym materiałem ilastym i nie prowadzą wody typu szczelinowatego.

Wyposażenie kompleksu ściany 1003, o wysokiej wydajności, składało się z obudowy zmechanizowanej osłonowej Glinik-13/26, na licencji firmy MECO, wyposażonej w sterowanie elektrohydrauliczne, kombajnu Anderson ELECTRA 1000 firmy Anderson-Longwall, o maksymalnej prędkości urabiania $9,97$ m/min, przenośnika ścianowego MECO, o wydajności znamionowej 1500 t/h, przenośnika podścianowego łańcuchowego MECO, o wydajności 1500 t/h, obudowy skrzyżowania MECO 6×420 , z wydłużonymi stropnicami. Eksploatację pokładu 352 ścianą 1003 o długości 300 m i wybiegu $1248,8$ m prowadzono z zawałem warstw stropowych. Eksploatację rozpoczęto 16.01.1993 roku, a zakończono 31.12.1993 roku. Wysokość furty eksploatacyjnej była równa $2,1 \pm 0,2$ m. Postępy ściany w okresie 1 miesiąca wahały się od 62 do 196 m, przy średnim dobowym postępie ściany równym $3,57$ m; maksymalny dobowy postęp ściany był równy około $12,5$ m.

3. Numeryczny model górotworu

Program komputerowy FLAC (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*) jest programem różnic skończonych. Umożliwia budowę numerycznych modeli górotworu i symulację zachowania się ośrodków gruntowych i skalnych zarówno po osiągnięciu punktu plastyczności (plastyczne płynięcie), jak i granicy wytrzymałości (kruche pęknięcie). FLAC jest oparty na schemacie obliczeniowym Lagrange'a. Oznacza to, że przyrostowe przemieszczenia dodawane są do współrzędnych i siatka porusza się oraz odkształca wraz z materiałem, w którym została założona. Dlatego jest szczególnie przydatny do rozwiązywania zadań inżynierii skalnej, nierozzerwalnie związanych z dużymi deformacjami i zniszczeniem materiału skalnego.

W celu dokonania analizy wpływu prędkości eksploatacji na zachowanie się górotworu w rejonie pola eksploatacyjnego 1003, w pokładzie 352 w KWK „Staszic” zbudowano płaski,

numeryczny, strukturalny i fizyczny model górotworu o długości 2250 m i miąższości 650 m (rys. 1). Podzielono go uskokami „Wojciech” i „Jakub” na trzy części: lewą – zachodnią, środkową i prawą – wschodnią.

Na podstawie otworu wiertniczego „Wujek I”, otworu badawczego dołowego G-52/86 i otworu hydrogeologicznego H-3/93 wyróżniono i zamodelowano pięćdziesiąt dwie warstwy w stropie i dwanaście warstw w spągu pokładu węgla zalegającego na głębokości 535,25 m, o miąższości 2,25 m.² Wśród wyróżnionych skał są m.in.: gleba piaszczysta, piaskowiec żółty wodonośny, przewarstwiony iłami, piaskowiec, węgiel, ility szare z cienkimi warstwami piaskowca, zlepieniec, łupki: piaszczysty, ilasty, piaszczysty z kongrecjami żelaziaka, przewarstwiony żelaziakiem, ilasty z kongrecjami żelaziaka, węglowy. Dwa uskoki „Wojciech” i „Jakub” zamodelowano jako powierzchnie mogące się ślizgać jedna względem drugiej i/lub pękać rozdzielczo.

Skałom o gęstości objętościowej od 1400 kg/m³ (węgiel), do 2800 kg/m³ (łupek ilasty z kongrecjami żelaziaka) przyporządkowano model ośrodka nieliniowego, sprężysto–kruchoplastycznego, o wytrzymałościach granicznej i resztkowej opisanych warunkiem Hoeka i Browna.³

Wartości stałych materiałowych górotworu, określone z uwzględnieniem efektu skali, są następujące:

- współczynnik sprężystości postaciowej G : od 38,5 MPa dla gleby piaszczystej do 5455 MPa dla zlepieńców,
- współczynnik sprężystości objętościowej K : od 83,5 MPa dla gleby piaszczystej do 6560 MPa dla łupków piaszczystych z kongrecjami żelaziaka,
- wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie σ_C : od 1 MPa dla gleby piaszczystej do 90 MPa dla łupków piaszczystych z kongrecjami żelaziaka,
- wytrzymałość na jednoosiowe rozciąganie σ_T : od 0,01 MPa dla gleby piaszczystej do 7,0 MPa dla piaskowców,

² Przyjmując założenie, że skały budujące poszczególne warstwy są w stanie przedkrytycznym materiałami sprężysto-izotropowymi, skorzystano z rozwiązania podanego przez Wardle'a i Gerrarda, i określając wartości stałych sprężystości zespołu kilku cienkich warstw skalnych, składających się na jedną, modelowaną warstwę, traktowano tę warstwę jako ekwiwalentny ośrodek monotropowy.

³ Wartości stałych materiałowych dla trzynastu różnych rodzajów skał oraz dla węgla z pokładu 352 zostały określone na podstawie badań wytrzymałościowych, przeprowadzonych w większości na próbkach skalnych w Laboratorium Mechaniki Skał KGBPiOP, w latach 1975-1995.

- stała m : od 0,015 dla gleby piaszczystej do 8,0 dla warstw łupków piaszczystych z kongrecjami żelaziaka,
- stała s : od 0,000001 dla gleby piaszczystej do 0,1 dla warstw zlepieńców, piaskowców, łupków piaszczystych oraz łupków i łupków piaszczystych z kongrecjami żelaziaka (tab. 1).⁴

Wartości stałych m i s , służące do oceny wytrzymałości resztkowej w stanie pokrytym, przyjęto jako, odpowiednio, dziesięciokrotnie mniejsze od tych, podanych powyżej. Szczegółowe dane na temat fizycznych i mechanicznych własności skał podano w tabeli 1.

Tabela 1

Własności fizyczne i geomechaniczne skał: ρ – gęstość objętościowa, E_m – moduł Younga, ν – współczynnik Poissona, m , s , m_r , s_r – stałe w warunku wytrzymałościowym Hoeka i Browna, odpowiednio dla skał nienaruszonych i dla skał w stanie pokrytym, σ_T – wytrzymałość graniczna na jednoosiowe rozciąganie

Rodzaj skały, nazwa	ρ kg/m ³	E_m , MPa	ν	σ_c MPa	m	s	m_r	s_r	σ_T MPa
Piasek (gleba piaszczysta)	2100	100	0.3	1	0.015	0.00001	0.0015	0.000001	0.01
Piaskowiec żółty wodonośny przewarstwiony ilami	2400	7000	0.14	45	1.25	0.008	0.125	0.0008	4.5
Piaskowiec	2450	10000	0.15	85	7.5	0.1	0.75	0.01	7.0
Węgiel p. 334 i 350	1400	1150	0.25	11	0.5	0.0001	0.05	0.00001	0.9
Iły szare z cienkimi wkładkami piaskowca	2580	6600	0.13	55	1.25	0.008	0.125	0.0008	5.5
Zlepieniec	2500	12000	0.1	80	7.0	0.1	0.7	0.01	6.0
Łupek piaszczysty	2570	8400	0.125	75	5.0	0.1	0.5	0.01	6.25
Łupek	2590	7200	0.125	62.5	2.0	0.008	0.2	0.0008	6.25
Łupek ilasty	2610	6000	0.125	50	1.0	0.004	0.1	0.0004	6.25
Łupek piaszczysty z kongrecjami żelaziaka	2750	12600	0.18	90	8.0	0.1	0.8	0.01	6.0
Łupek z kongrecjami żelaziaka (łupek przewarstwiony żelaziakiem)	2800	10800	0.18	75	5.0	0.1	0.5	0.01	5.5
Łupek ilasty z kongrecjami żelaziaka	2850	9000	0.18	60	1.5	0.008	0.15	0.0008	5.0
Łupek węglowy	2200	3000	0.2	40	1.0	0.001	0.1	0.0001	3.2
Węgiel z pokładu 352	1400	1150	0.25	22	1.0	0.001	0.1	0.0001	1.8

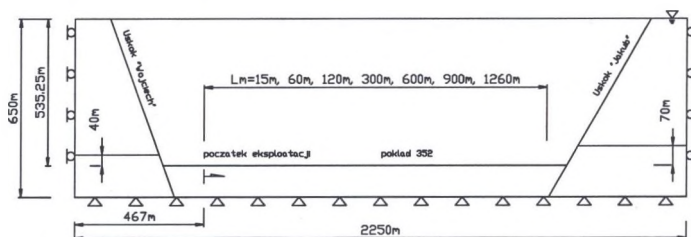
⁴ Stałe materiałowe m i s są wielkościami występującymi w warunku wytrzymałościowym Hoeka i Browna
 $\sigma_{1\max} = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2}$

Model tarczy górotworu podzielony został na 9750 prostokątnych elementów 150 (L) x 65 (H) o długości równej średnio 15 m i szerokości 10 m, tworzących siatkę różnic skończonych o 9966 węzłach.

Węzły, które znajdują się na bocznych krawędziach tarczy mają swobodę przemieszczania się w kierunku pionowym, nie mogą się przemieszczać w kierunku poziomym. Odwrotnie węzły znajdujące się na dolnej, poziomej krawędzi tarczy mogą przemieszczać się jedynie w kierunku poziomym (zob. rys. 1).

Węzły znajdujące się wewnątrz tarczy mają możliwość przemieszczania się zarówno w kierunku poziomym, jak i pionowym.

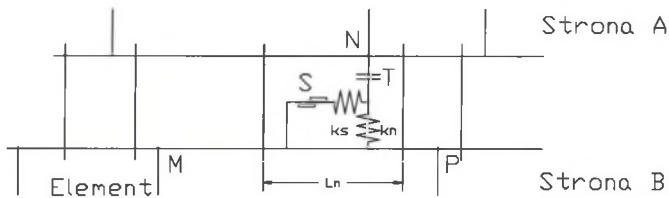
Naprężenie pionowe pierwotne w górotworze pochodzi od sił masowych – ciężaru skał zdeterminowanego gęstością objętościową skał, naprężenie poziome zaś jest funkcją naprężenia pionowego i współczynnika Poissona.



Rys. 1. Uproszczony schemat modelowanej tarczy górotworu i eksploatacji pokładu 352
Fig. 1. Model of strata in the area of mining field in Staszic Coal Mine with a seam 352

W celu zamodelowania dwóch dużych uskoków – zachodniego „Wojciech” i wschodniego „Jakub” – dzielących badany obszar górotworu na trzy części, wykorzystany został, wbudowany w program FLAC, model powierzchni rozdziału pomiędzy dwiema częściami siatki różnic skończonych. Powierzchnia ta, charakteryzująca się własnościami sztywności normalnej, sztywności ścinania, kohezji, tarcia i wytrzymałości na rozciąganie, ma zdolność zarówno do odkształcania się sprężystego, jak i coulombowskiego poślizgu i pękania rozdzielczego (zob. rys. 2 i tab. 2).

Obudowę ścianową zamodelowano za pomocą 10-członowego elementu strukturalnego o szerokości 15 m i wysokości 2,25 m, o współczynniku sztywności osiowej równym 30 MN/m i podporności 1,03 MN. Obudowa podpira strop na odcinku o długości 3,5 m. Środek odcinka zajmowanego przez obudowę jest przesunięty w lewo od czoła ściany o średnio 2,25 m.



Rys. 2. Schemat strukturalny i model mechaniczny powierzchni rozdziału

Fig. 2. An interface represented by sides A and B, connected by shear k_s and normal k_n stiffness springs

Tabela 2

Własności mechaniczne powierzchni rozdziału symulujących uskoki „Wojciech” i „Jakub”

Parametry mechaniczne	Uskok „Wojciech”	Uskok „Jakub”
Współczynnik sztywności normalnej k_n , MPa/m	125	120
Współczynnik sztywności ścinania k_s , MPa/m	50	45
Kąt tarcia ϕ , deg	30	28
Spójność c , MPa	0,5	0,4
Granica wytrzymałości na rozciąganie σ_T , MPa	0,00005	0,000001

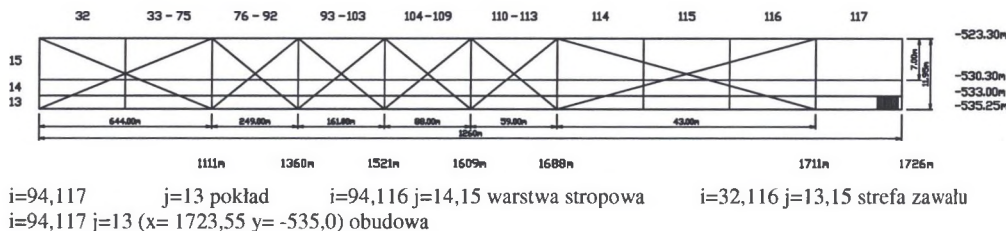
W celu zbadania zmian stanu naprężenia i przemieszczenia w górotworze, towarzyszących eksploatacji pokładu 352 ścianą 1003, zasymulowano wybieranie pokładu dla długości wybiegu L_m równym 1260 m.

Eksploatację rozpoczęto w punkcie odległym o 467 m od lewej krawędzi tarczy górotworu.

Symulując eksploatację pokładu 352 pominięto wpływ wcześniejszego wybrania części zalegających powyżej pokładów 350 i 334 (por. Kwaśniewski i Wang; 1994a, b).

Pokład 352 eksploatowany był z zawałem warstw stropowych, dlatego też konieczne było uwzględnienie efektu konsolidowania się strefy zawału wraz z postępem frontu eksploatacji. Skałom w strefie zawałowej przyporządkowano, w zależności od odległości od czoła ściany, różne wartości gęstości objętościowej, współczynnika sprężystości objętościowej i współczynnika sprężystości postaciowej. Schemat modelowanej strefy zawału wraz z wartościami stałych materiałowych tej strefy przedstawiono na rys. 3 i w tab. 3.

Symulację wpływu prędkości eksploatacji za pomocą programu FLAC umożliwiają specyficzne właściwości programu. Rozwiązuje on równania różniczkowe, sprowadzając je do równań algebraicznych. Ich rozwiązanie wymaga pewnej ilości kroków obliczeniowych, których liczba w zależności od złożoności zadania może się wahać od kilku do kilkunastu tysięcy, przy czym granice dolna i górna są „płynne” i mogą być założone z góry.



Rys. 3. Uproszczony schemat modelu strefy zawalu
Fig. 3. General view of the grid geometry of fall of roof zone

Tabela 3

Wartości stałych materiałowych dla strefy zawalu o długości $L_C=1245$ m i wysokości $H_C=12,7$ m ($L_m=1260$ m)

Współrzędne siatki				
i=32,75 j=13,15	i=76,92 j=13,15	i=93,103 j=13,15	i=104,109 j=13,15	i=110,113 j=13,15
$\rho=2200$ kg/m ³	$\rho=2150$ kg/m ³	$\rho=2100$ kg/m ³	$\rho=2000$ kg/m ³	$\rho=1800$ kg/m ³
$K=153,33$ MPa	$K=115,0$ MPa	$K=76,67$ MPa	$K=38,33$ MPa	$K=25,55$ MPa
$G=92,0$ MPa	$G=69,00$ MPa	$G=46,00$ MPa	$G=73,00$ MPa	$G=15,33$ MPa

W tab. 4. zestawione są liczby kroków obliczeniowych, odpowiadające symulacji wybierania pokładu 352 z prędkościami małą i dużą. Symulując eksploatację z prędkością małą zakończono obliczenia po 13000 kroków obliczeniowych, co odpowiadało trwającej 350 dni eksploatacji pokładu 352 w polu wybierkowym 1003 w KWK „Staszic” i średniej prędkości eksploatacji równej około 3,6 m/dobę. Symulację eksploatacji z prędkością dużą zakończono już po 1300 krokach obliczeniowych.⁵

Tabela 4

Liczby kroków obliczeniowych odpowiadające symulacji eksploatacji z różnymi prędkościami

Długość odcinka eksploatacji [m]	Liczba kroków obliczeniowych przy eksploatacji z prędkością małą	Liczba kroków obliczeniowych przy eksploatacji z prędkością dużą	„Czas” trwania eksploatacji z prędkością małą	„Czas” trwania eksploatacji z prędkością dużą
1260	13000	1300	350	35

⁵ Pierwsze próby symulacji eksploatacji z różnymi prędkościami można znaleźć w pracach Kwaśniewskiego i Wanga (1994 a, b).

4. Wpływ prędkości eksploatacji na deformacje górotworu i powierzchni terenu

Badając zmiany pola deformacji, następujące w miarę postępu frontu eksploatacji pokładu 352 ścianą 1003 na odcinku 1260 m, pomiędzy dwoma uskokami „Wojciech” i „Jakub”, analizie poddano, dla obu prędkości eksploatacji przemieszczenia pionowe u_y , przemieszczenia poziome u_x , wektorowe pole przemieszczeń górotworu, odkształcenia poziome powierzchni terenu ϵ_x , nachylenia powierzchni terenu T_x , strefy uplastycznienia i spękań w górotworze oraz profil niecki osiadania powierzchni terenu (zob. rys. 4 i 5 oraz tab. 5 i 6).⁶

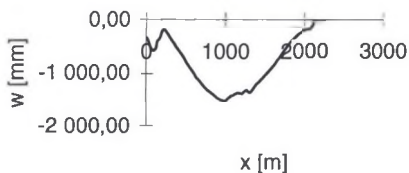
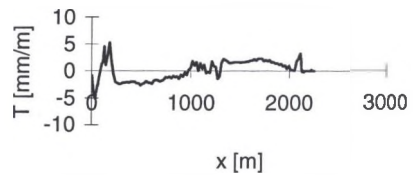
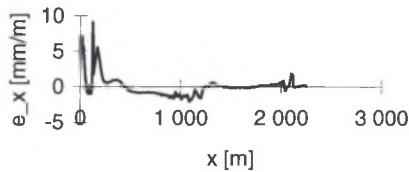
W stadium wybierania pokładu 352 z prędkością małą część górotworu, na zachód od uskoku „Wojciech”, ulega osiadaniom sięgającym 15 cm (por. 6a i 7a). Strefa wzmożonych osiadań obejmuje cały obszar górotworu pomiędzy uskokami. Największe obniżenia powierzchni terenu, przekraczające 140 cm, występują w centralnej części badanego obszaru, na odcinku o długości około 400 m (lokalnie są one jeszcze większe, przekraczające nawet 150 cm). Niemal cały obszar górotworu, poniżej wybranej części pokładu doznał niewielkich, nieprzekraczających 45 cm wypiętrzeń. W bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska warstwy stropowe ulegają obniżeniu równemu 20-30 cm. Obniżenia te rosną w miarę oddalania się od czoła ściany i sięgają 90-100 cm w strefie zawałowej. Niewielki jest obszar wypiętrzeń spągu, równych około 10 cm, w niezabudowanej części wyrobiska ścianowego i rosnących do około 15 cm w odległości 50 m za czołem ściany. Wektory osiadań przyjmują maksymalne wartości w strefie zawału nad wyeksploatowanym pokładem równe 50 m za czołem ściany. Wektory wypiętrzeń spągu nie przekraczają wartości 15 cm i są największe pod strefą zawału, stopniowo zanikając w miarę zbliżania się do czoła ściany.⁷ Zarówno w stropie, jak i w spągu wybranego pokładu u czoła ściany obserwujemy osiadania. Nad niezabudowaną częścią wyrobiska ścianowego w odległości 7,5 m od stropu pokładu wartości osiadań wynoszą 80,2 cm. Strop pokładu u czoła ściany ulega osiadaniom równym około 14 cm. Takim samym osiadaniom ulegają tu także warstwy spągowe.

Po zakończeniu eksploatacji pokładu z małą prędkością, spękaniem objęty jest niemal cały obszar górotworu pomiędzy uskokami „Wojciech” i „Jakub”.

⁶ Wyniki i pełną ich analizę można znaleźć w pracy pt.: *Modelowanie numeryczne i badanie wpływu prędkości eksploatacji na deformacje górotworu i powierzchni terenu* (Tomiczek, 1995).

⁷ Jw.

Warto zwrócić uwagę, że na głębokości równej około 490 m strefa spękań dochodzi aż do uskoku „Jakub” (zob. Tomiczek, 1995).



Rys. 4. Rozkład wskaźników deformacji: odkształceń poziomych (a), nachyleń (b) i osiadań (c) dla stadium eksploatacji prowadzonej z małą prędkością

Fig. 4. Horizontal strains (a), slope of the ground (b) and subsidence profile (c) after the slow extraction of the seam 352

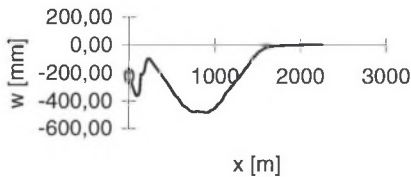
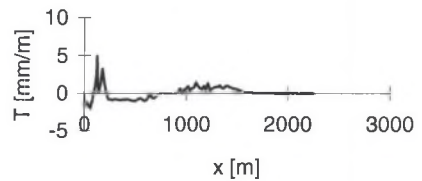
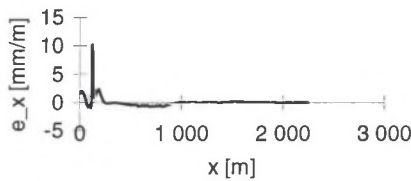
Tabela 5

Wartości wskaźników deformacji, w obszarze pomiędzy uskokami: „Wojciech” i „Jakub”, w stadium eksploatacji prowadzonej z małą prędkością ($L_m=1260$ m)

Prędkość eksploatacji	w_{max} . [mm] w obszarze pomiędzy uskokami	ϵ_{xmax} . [mm/m] w obszarze pomiędzy uskokami w skrzydłach odpowiednio lewym i prawym		T_{max} . [mm/m] w obszarze pomiędzy uskokami w skrzydłach odpowiednio lewym i prawym		Zasięg wpływów eksploatacji w prawym skrzydle
„mała”	-1508,0	-2,058	0,558	-2,684	2,300	-
odległość od czoła ściany [m]	-747,5	-630,5	-396,0	-1234,5	-26	-

W stadium eksploatacji, prowadzonej z prędkością dużą, strefa wzmożonych osiadań górotworu nad wybranym pokładem nie jest tak rozległa, jak ta, powstała w wyniku eksploatacji prowadzonej z małą prędkością; jest przy tym silnie asymetryczna (rys. 6b i 7b). Maksymalne wartości obniżen obserwowane są w rejonach odległych na zachód od frontu eksploatacji. Sięgają one tam 45 cm na powierzchni terenu, na odcinku o długości około 300 m i około 58,5 cm lokalnie tuż nad wybranym pokładem. Są one około 3 razy mniejsze od obniżen towarzyszących eksploatacji z prędkością małą. Warstwy spągowe ulegają wypiętrzeniom na całej długości pola wybierkowego 1003. Wypiętrzenia te sięgają lokalnie, w strefie odległej od frontu eksploatacji o 40 m, w spągu pokładu wartości równe około 20,0 cm. Wektory przemieszczeń o przeciwnych zwrotach, o kierunku zbliżonym do

prostopadłego do linii pokładu są mniej więcej równe 23,5 cm w strefie zawałowej nad i pod eksploatowanym pokładem. Ich wartość maleje w miarę zbliżania się do czoła ściany. Wektory osiadań w odległości około 7,5 m nad niezabudowaną częścią wyrobiska przyjmują wartości maksymalne 18,7 cm, w spagu niezabudowanej części wektory wypiętrzeń wynoszą do 13 cm, a w czole ściany wektory osiadań w stropie i wypiętrzeń w spagu przyjmują wartości równe odpowiednio 2,0 i 6,7 cm. Podobnie jak w szóstym stadium eksploatacji ($L_m=900$ m), prowadzonej z dużą prędkością, zasięg stref spękań w górotworze jest bardzo niewielki i nie przekracza odległości 50 m w górę, powyżej pokładu i 10-15 m w warstwach spagowych.



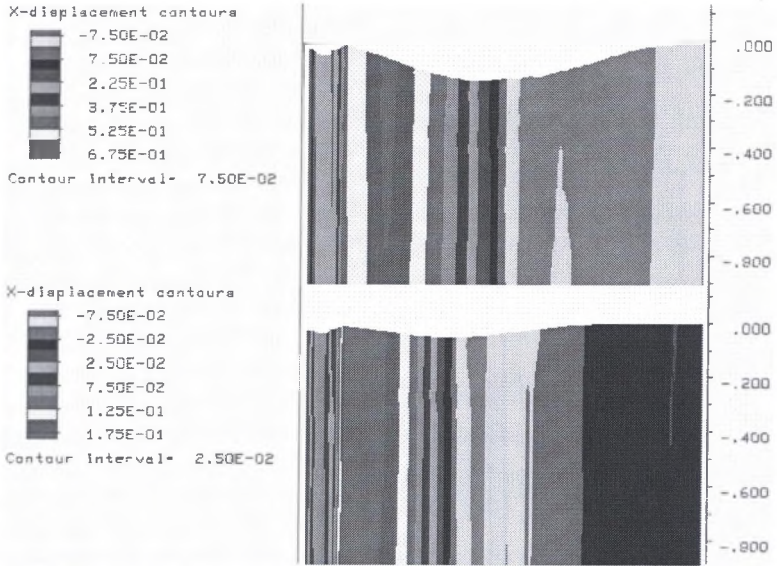
Rys. 5. Rozkład wskaźników deformacji: odkształceń poziomych (a), nachyleń (b) i osiadań (c) dla siódmego stadium eksploatacji prowadzonej z dużą prędkością

Fig. 5. Horizontal strains (a), slope of the ground (b) and subsidence profile (c) after the fast extraction of the seam 352

Tabela 6

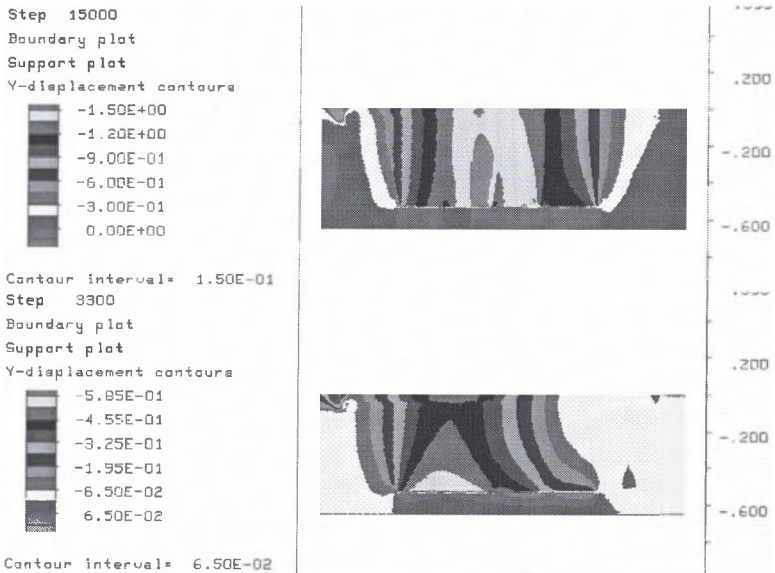
Wartości wskaźników deformacji, w obszarze pomiędzy uskokami: „Wojciech” i „Jakub”, w stadium eksploatacji prowadzonej z dużą prędkością ($L_m=1260$ m)

Prędkość eksploatacji	w_{max} . [mm] w obszarze pomiędzy uskokami	ϵ_{xmax} . [mm/m] w obszarze pomiędzy uskokami w skrzydłach odpowiednio lewym i prawym		T_{max} . [mm/m] w obszarze pomiędzy uskokami w skrzydłach odpowiednio lewym i prawym		Zasięg wpływów eksploatacji w prawym skrzydle
„duża”	-486,1	-0,752	0,458	-1,020	1,479	-
odległość od czoła ściany [m]	-825,5	-903,5	-708,5	-1235,0	-630,5	-



Rys. 6. Profil niecki osiadania powierzchni terenu dla małej (a) i dużej (b) prędkości wybierania ($L_m=1260$ m)

Fig. 6. Subsidence (x – displacement contours) trough profile after the slow (a) and fast (b) extraction of the seam 352



Rys. 7. Pole przemieszczeń pionowych górotworu dla małej (a) i dużej (b) prędkości wybierania, w siódmym ($L_m=1260$ m) stadium eksploatacji (obraz "globalny")

Fig. 7. Vertical displacements (y – displacement) of the rock mass caused by slow (a) and fast (b) mining extraction of the seam 352

5. Podsumowanie i wnioski

Posługując się programem metody różnic skończonych FLAC v. 3.23 wykonano komputerową symulację eksploatacji pokładu 352 w polu wybierkowym 1003, w KWK „Staszic”. Symulowano wybieranie pokładu z prędkością małą, równą około 3,6 m/dobę i prędkością dużą, 10-krotnie od tamtej większą.

Wyniki numerycznego modelowania górotworu i komputerowej symulacji eksploatacji pokładu węgla pozwoliły stwierdzić, że zwiększenie prędkości wybierania pokładu prowadzi do zmniejszenia wartości wskaźników deformacji i zasięgu pól deformacji ciągłych i nieciągłych w górotworze (zob. tab. 7).

Tabela 7

Ekstremalne wartości wskaźników deformacji terenu po zakończeniu eksploatacji pokładu

Prędkość eksploatacji	w_{max} . [mm] w obszarze pomiędzy uskokami	ϵ_{xmax} . [mm/m] w obszarze pomiędzy uskokami w skrzydłach odpowiednio lewym i prawym		T_{max} . [mm/m] w obszarze pomiędzy uskokami w skrzydłach odpowiednio lewym i prawym	
mała	-1508,0	-2,058	0,558	-2,684	2,300
duża	-486,1	-0,752	0,458	-1,020	1,479

Po zakończeniu wybierania pokładu (stadium siódme, $L_m=1260$ m) maksymalne wektory przemieszczeń w otoczeniu wyrobiska, równe 98,9 cm w przypadku eksploatacji prowadzonej z małą prędkością, były przeszło cztery razy większe od tych, równych 23,5 cm, odpowiadających eksploatacji szybkiej. Różny był kierunek i rozkład wektorów przemieszczeń w bezpośrednim otoczeniu wyrobiska.

Stwierdzono również, że w przypadku eksploatacji z małą prędkością strefa wzmoczonych osiadań górotworu jest znacznie bardziej regularna, symetryczna, niż ta, która odpowiada prędkości eksploatacji dużej. Maksymalne wartości osiadań powierzchni terenu równe 150,8 cm, są przy tym ponadtrzykrotnie większe i obejmują większe połacie terenu (dla stadium „wolnego” osiadania objęły cały badany obszar). W głębi górotworu, w strefie zawału skał nad wybraną częścią pokładu maksymalne osiadania wynosiły 157,5 cm, przy eksploatacji z małą prędkością, i były około 2,7 razy większe od obniżień towarzyszących eksploatacji szybkiej. Ponad siedmiokrotnie większe są wartości wektora przemieszczeń stropu w obudowanej części wyrobiska ścianowego.

Strefa zniszczenia odpowiadająca małej prędkości eksploatacji, obejmuje niemal cały obszar górotworu pomiędzy uskokami „Jakub” i „Wojciech”, podczas gdy przy eksploatacji

z dużą prędkością ogranicza się, jeżeli pominąć ulegające uplastycznieniu utwory gruntowe przy powierzchni, tylko do bezpośredniego sąsiedztwa wybranego pokładu.

Również duże różnice występują w maksymalnych wartościach nachyleń i odkształceń poziomych powierzchni terenu. Dwukrotnie większe, sięgające 2,68 mm/m w przypadku prowadzenia eksploatacji z małą prędkością, są, w porównaniu z tymi, które odpowiadają eksploatacji szybkiej, wartości nachyleń. Wartości odkształceń poziomych są prawie 3-krotnie większe w zachodnim skrzydle niecki.

Literatura

1. *FLAC User's Manual*. Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis 1992-2005.
2. Kwaśniewski M., Wang J.-A.: *Symulacja komputerowa eksploatacji pokładu węgla systemem ścianowym z zawładem stropu*. Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo, z. 221. Gliwice 1994a.
3. Kwaśniewski M., Wang J.-A.: *Modelowanie numeryczne i badanie zachowania się górotworu w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego 1003 w pokładzie 352 w KWK „Staszic”*. Monografia: *Przodki ścianowe o wysokiej koncentracji produkcji*. Praca zbiorowa. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Katowice - Gliwice 1994b, s. 117-175.
4. Tomiczek K.: *Modelowanie numeryczne i badanie wpływu prędkości eksploatacji na deformacje górotworu i powierzchni terenu*. Praca magisterska. Politechnika Śląska. Gliwice 1995, (praca niepublikowana).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Podgórski

Abstract

The analysis of the deformations of the surface and strata in the field of Staszic Coal Mine has been conducted on the basis of two-dimensional FLAC v. 3.22 model. The numerical model consisted of about 100 layers distributed by two major faults, "Wojciech" and "Jakub". The longwall "slow" and "fast" extractions of the seam 352 with roof caving in a panel 1260 m long have been simulated. As the result, the following differences in the behavior of the rock mass have been investigated: changes in the displacement, the development of the subsidence through and the slope of the ground surface after the mining under two face mining advances.