

Ocena stateczności górotworu w otoczeniu płytkiej pustki w aspekcie możliwości wystąpienia zapadliska

The assessment of rock mass stability in the vicinity of shallow void in terms of sinkhole formation possibility



*Prof. dr hab. inż. Piotr Strzałkowski**



*Dr hab. inż. Roman Ścigala**



*Dr inż. Katarzyna Szafulera**

Treść: W artykule przedstawione zostały wyniki analiz stateczności górotworu w otoczeniu pustki zlokalizowanej na małej głębokości w aspekcie występowania powierzchniowych deformacji nieciągłych. Podjęte analizy dotyczyły terenu górniczego jednej z górnośląskich kopalń, gdzie w przeszłości na niedużej głębokości prowadzono roboty górnicze. Deformacje wywołane robotami górnictwem określone zostały przy użyciu programów opartych na metodzie różnic skończonych (MRS) oraz teorii W.Budryka – S.Knothe. W wyniku obliczeń przeprowadzonych za pomocą tych programów określone zostały wartości składowych tensora odkształcenia, na podstawie których obliczono następnie wartości odkształceń głównych i wartości oktaedrycznych odkształceń postaciowych. Na podstawie uzyskanych wyników dokonana została ocena możliwości wystąpienia stanu granicznego w górotworze w otoczeniu pustki w oparciu o hipotezę odkształceniową.

Abstract: This paper presents the results of analyses aiming at the determination of the stability of rock mass surrounding shallow void, with connection to sinkhole formation hazard. The analyses have been performed for the mining area of the one of the Upper Silesian coal mine, where mining works were led at shallow depths. Deformations caused by mining works have been determined by the use of the finite difference method (FDM) as well as the W.Budryk-S.Knothe theory. At first, the components of strain tensor were calculated, then the principal and octahedral strains determined. On the basis of the obtained results, the evaluation of the possibility of limit state occurrence was performed in the vicinity of the void, taking into account strain-based failure criteria.

Słowa kluczowe:

górnictwo węgla kamiennego, wpływ eksploatacji na górotwór, zapadliska

Key words:

mining industry, mining works influences on the rock mass, sinkholes

1. Wprowadzenie

Oddziaływanie podziemnej eksploatacji złóż na środowisko obejmuje szerokie spektrum czynników. Wśród nich szczególnie uciążliwe i niebezpieczne dla powierzchni są deformacje, występujące w postaci ciągłej i nieciągłej. Zwłaszcza łączne występowanie powyższych dwóch typów deformacji stanowi szczególne zagrożenie dla obiektów zlokalizowanych na terenach górniczych. Deformacje nieciągłe typu powierzchniowego, m.in. zapadliska, związane są z samopodsadzeniem płytkich pustek, powstałych w związku z eksploatacją prowadzoną w przeszłości. Dokonywane w górotworze dalsze roboty górnicze, prowadzone często na większych głębokościach, powodują naruszenie stanu

równowagi i utratę stateczności górotworu w rejonie pustki, czego częstym skutkiem jest powstanie zapadlisk.

Według M.Boreckiego [1] i M.Chudka [2,3] jedną z form utraty stateczności wyrobisk jest działanie stanów naprężeniowo-deformacyjnych wywołanych eksploatacją. Zniszczenie struktury skały następuje po przekroczeniu granicznych odkształceń, a w otoczeniu wyrobisk wytwarza się strefa skał spękanych. Skały spękane ulegają przemieszczeniu w kierunku wyrobisk i mogą spowodować ich samopodsadzenie. W takim przypadku, punktem wyjściowym w analizie stateczności wyrobisk jest informacja o kształtowaniu się pól naprężeń i odkształceń górotworu w ich sąsiedztwie.

Przedstawione w artykule analizy dotyczyły terenu górniczego jednej z kopalń GZW, gdzie w przeszłości na niedużej głębokości prowadzona była eksploatacja węgla. Rozważania dotyczyły deformacji nieciągłej – zapadliska stwierdzonego na obszarze górniczym kopalni pod koniec 2008 roku.

* Politechnika Śląska, Gliwice

Z dokumentacji geologiczno-górnicyjnej wynika, że deformacja wystąpiła nad pochylnią transportową z lat 50., na głębokości około 100 m, a moment jej wystąpienia koresponduje z prowadzoną wówczas eksploatacją górnicyjną.

2. Charakterystyka analizowanego rejonu

2.1. Budowa geologiczna

Budowa górotworu w analizowanym rejonie rozpoznana została na podstawie profilu otworu wiertniczego. Górotwór zbudowany jest z warstw nadkładu i karbonu produktywnego. Nadkład tworzą utwory czwartorzędowe wykształcone w postaci łu zapiaszczonego i piasku drobnoziarnistego o łącznej miąższości ok. 2 m. Pod nimi zalegają warstwy karbonu produktywnego. Tworzą je warstwy orzeskie zbudowane z naprzemianległych warstw piaskowców, których udział wynosi ok. 43 % oraz mułowców o zbliżonym udziale. Pozostałe warstwy to łuwcce, łuپی węglowe oraz pokłady węgla. Pod warstwami orzeskimi zalegają warstwy rudzkie.

2.2. Dokonana eksploatacja górnicyjna

W analizowanym obszarze eksploatacja prowadzona była od II połowy XIX w.

W pokładzie 318 eksploatacja prowadzona była w południowej części obszaru. Złoże wybierano w latach 1850-60 z zawałem stropu, na głębokości ok. 16 m.

W pokładzie 320 eksploatację prowadzono w południowej części analizowanego obszaru. Złoże wybierano w latach 50. XX w. na głębokości ok. 45 m, z zawałem stropu na wysokość 1.25 m.

W pokładzie 324 roboty górnicyjne prowadzone były również w latach 50. z zawałem stropu, na wysokość 1.1 m. Głębokość eksploatacji wynosiła ok. 120 m. W pokładzie tym znajdowało się wyrobisko korytarzowe na głębokości ok. 100 m zlokalizowane bezpośrednio poniżej zapadliska. Z kolei na północny wschód od obszaru w pokładzie tym węgiel wybierany był z zawałem stropu na wysokość ok. 1 m, na głębokości ok. 100 m.

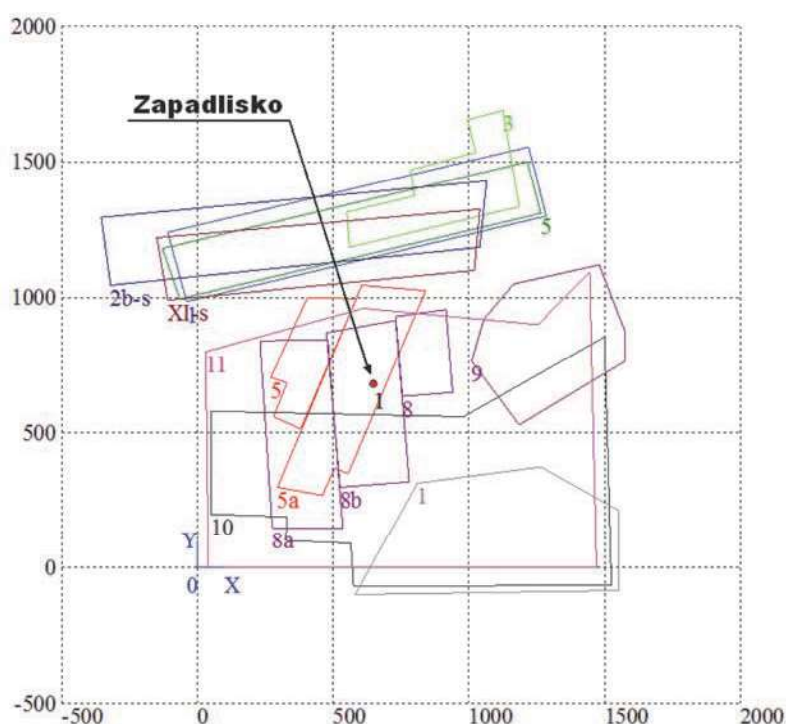
W tabeli 1 przedstawione zostały podstawowe dane na temat eksploatacji, która oddziaływała na wyrobisko będące przyczyną wystąpienia zapadliska na powierzchni (rys. 1).

Wykonując obliczenia przyjęto, że wpływ eksploatacji pokładów węgla kamiennego na analizowane wyrobisko rozpatrywany jest od czasu jego powstania. Z przeprowadzonych analiz warunków geologiczno-górnicyjnych wynika, że po latach 50. pierwsza eksploatacja w tym rejonie prowadzona była w 1995 roku.

Tabela 1. Dane o eksploatacji dokonanej od 1995 roku w rozpatrywanym rejonie

Table 1. Data concerning the performed extraction in 1995 in considered area

Pokład	Ściana	Początek eksploatacji	Koniec eksploatacji	Grubość m	Głębokość m ppt	System eksploatacji
334/2	5	01-05-1995	30-09-1995	1.55	323	zawał
334/2	5a	30-08-1996	30-07-1997	1.5	323	zawał
349	8	20-12-2008	30-03-2009	2.1	518	zawał
349	8a	01-04-2008	30-09-2008	2.1	543	zawał
349	8b	15-08-2008	31-12-2008	2.1	533	zawał
402	1	15-10-2004	31-12-2005	1.7	698	zawał
403/1	5	01-12-1998	30-03-2000	2.7	788	zawał
407/4	3	01-01-2008	30-07-2008	2.5	788	zawał



Rys. 1. Szkic ilustrujący dokonaną eksploatację w rejonie zapadliska

Fig. 1. Sketch illustrating the performed extraction in the vicinity of the sinkhole

3. Ocena stateczności górotworu w sąsiedztwie pustki

Ocena stateczności górotworu w otoczeniu pustki wymagała ustalenia deformacji górotworu wywołanych wykonaniem wyrobiska oraz deformacji będących skutkiem współczesnej eksploatacji węgla kamiennego. Deformacje te zostały określone przy użyciu metod modelowania matematycznego. Zastosowano podobny schemat postępowania jak w pracy [18]. W pierwszej kolejności obliczono deformacje przy użyciu programu FLAC^{3D} [5,6], a następnie - odkształcenia, wykorzystując do tego celu wzory teorii W. Budryka – S. Knothe [9, 10].

3.1. Numeryczna ocena stanu odkształcenia górotworu w otoczeniu pustki

Dla zbadania odkształceń górotworu w stropie pustki, w programie FLAC^{3D} zbudowany został model numeryczny. Model tworzył prostopadłościenny blok górotworu składający się z 21 500 elementów o wysokości równej 17 m i podstawie w kształcie prostokąta o bokach 10 m × 1 m.

Dane geologiczne dotyczące litologii i miąższości warstw skalnych w modelowanej warstwie górotworu ustalone zostały na podstawie profilu otworu wiertniczego; głębokość i gabaryty modelowanego wyrobiska ustalono na podstawie mapy pokładu 324. Uwzględniając powyższe dane, uzyskano model składający się z 3 warstw odzwierciedlających budowę górotworu w przedziale głębokości od 91.3 m do 108.3 m. Modelowane wyrobisko korytarzowe umiejscowione jest na głębokości 100 m, jego długość wynosi 10 m. Przekrój poprzeczny ma kształt prostokąta o wymiarach 3 m – szerokość, 2 m – wysokość (rys. 2).

W modelu zadano przemieszczeniowe warunki brzegowe na jego dolnej płaszczyźnie oraz na obydwu bocznych. Na

górnjej płaszczyźnie modelu, jako warunek początkowy zadano pionową składową pierwotnego stanu naprężenia. Całej modelowanej bryle górotworu przyporządkowany został model ciała sprężysto–plastycznego ze zmodyfikowanym warunkiem wytrzymałościowym Coulomba–Mohra [6]. Wartości stałych materiałowych przyjęto w oparciu o literaturę [1, 3].

Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci wektorów przemieszczeń całkowitych górotworu w sąsiedztwie wyrobiska – rys.3.

Dla dalszych analiz odczytano tensor odkształcenia (1) dla 17 punktów zlokalizowanych w stropie modelowanego wyrobiska, korzystając z algorytmu napisanego w języku FISH [7]. Następnie, wykorzystując tensor odkształcenia (1) oraz równanie (2) [20-21], obliczone zostały: największe (ϵ_1), pośrednie (ϵ_2) i najmniejsze (ϵ_3) odkształcenia główne w stropie modelowanego wyrobiska. Wyniki obliczeń przedstawione zostały w tabeli 2.

$$T_{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_x & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{yx}}{2} & \epsilon_y & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{zx}}{2} & \frac{\gamma_{zy}}{2} & \epsilon_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

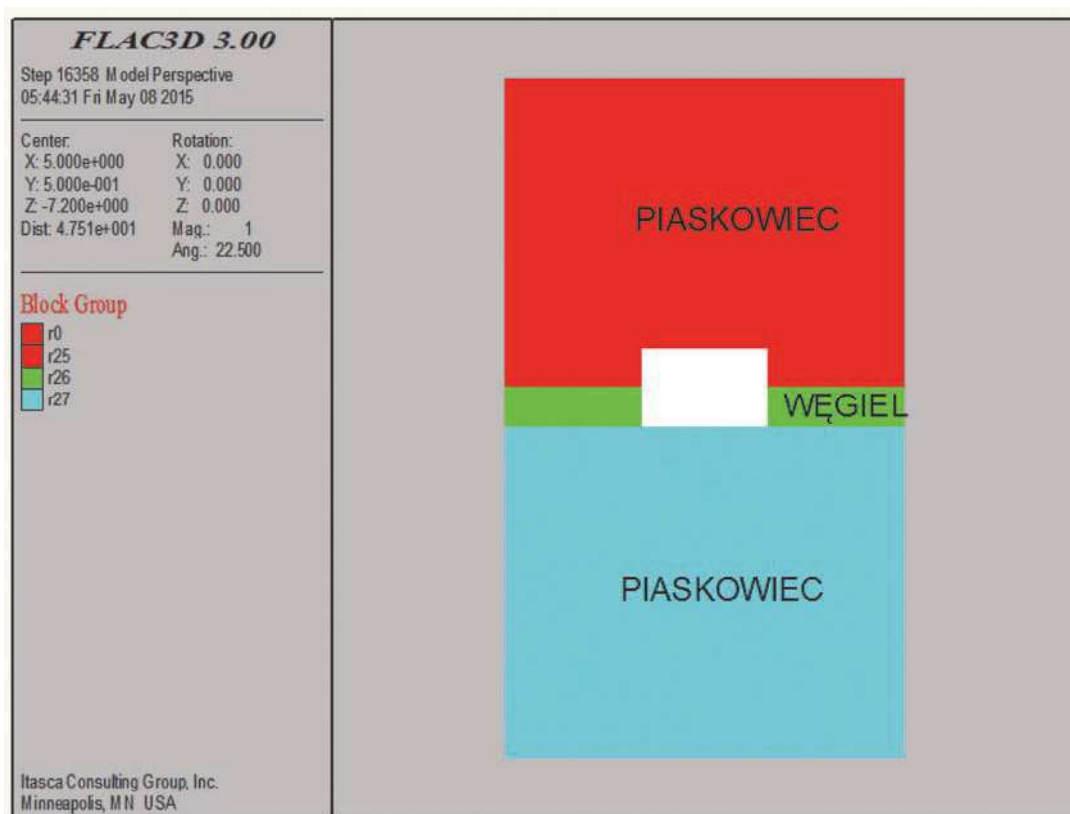
gdzie:

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ – odkształcenia liniowe w kierunkach x, y, z,
 $\gamma_{xy}, \gamma_{yx}, \gamma_{xz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yz}, \gamma_{zy}$ – odkształcenia kątowe (postaciowe),

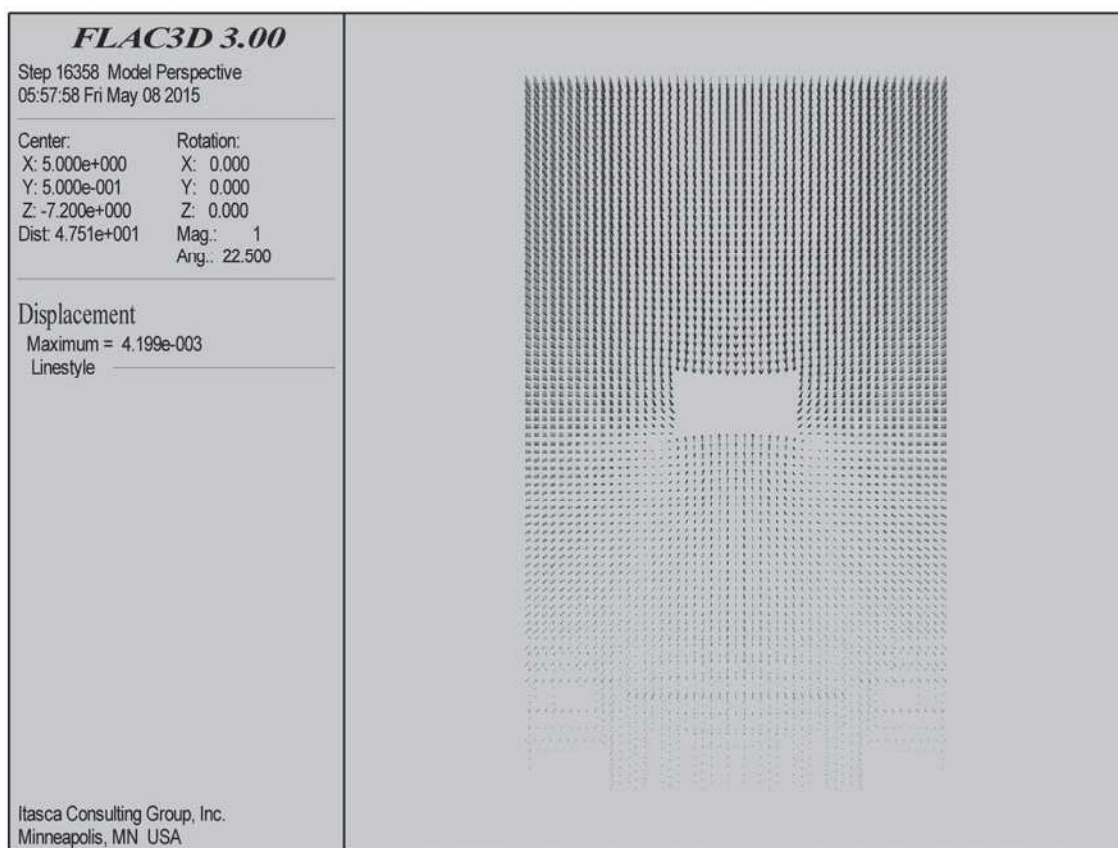
$$\epsilon^3 - \Pi_1 \epsilon^2 + \Pi_2 \epsilon - \Pi_3 = 0 \quad (2)$$

gdzie:

Π_i – niezmienniki stanu odkształcenia, $i=1,2,3$
 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ – odkształcenia główne.



Rys. 2. Widok płaszczyzny XZ modelowanej bryły górotworu wraz z wyrobiskiem
 Fig. 2. XZ plane view of the modeled rock mass along with gallery



Rys. 3. Mapa wektorów przemieszczeń całkowitych górotworu w sąsiedztwie wyrobiska

Fig. 3. Map of resultant displacement vectors in the vicinity of the gallery

Tabela 2. Odształcenia główne górotworu w stropie modelowanego wyrobiska

Table 2. Principal strain in the roof of the modeled gallery

Lokalizacja punktu obliczeniowego	ε_3 mm/m	ε_2 mm/m	ε_1 mm/m
naroże	0.73	0	-1.13
strop	0.73	0	-1.13
strop	0.71	0	-0.36
strop	0.56	0	-0.02
strop	0.54	0.05	0.00
strop	0.54	0.05	0.00
strop	0.53	0.08	0.00
strop	0.52	0.10	0.00
strop	0.51	0.11	0.00
strop	0.51	0.11	0.00
strop	0.53	0.08	0.00
strop	0.53	0.08	0.00
strop	0.54	0.05	0.00
strop	0.56	0	-0.02
strop	0.60	0	-0.12
strop	0.73	0	-1.13
naroże	0.73	0	-1.13

Rezultaty badań numerycznych potwierdzają zachowanie naprężeniowo-deformacyjne górotworu w otoczeniu wyrobiska korytarzowego o przekroju prostokątnym znane z równań zaproponowanych przez Sawina [4, 13]. Wartości deformacji górotworu w płaszczyźnie stropu wyrobiska (tabela 2) wskazują, że strefy największych skróceń występują w narożach. Ich wartość sięga 1.12 mm/m. W środkowym odcinku wyrobiska skrócenia nie występują. Wydłużenia występują na całej

szerokości wyrobiska. Największe ich wartości zlokalizowane są w narożach i wynoszą około 0,73 mm/m. Na pozostałej szerokości wyrobiska wartości wydłużeń nieznacznie maleją.

3.2. Ocena stanu odkształcenia górotworu w sąsiedztwie pustki, wywołanego eksploatacją górnictwem

W celu określenia deformacji górotworu wywołanych eksploatacją węglową w sąsiedztwie rozpatrywanego wyrobiska korytarzowego, skorzystano z wzorów teorii W. Budryka–S. Knothego [9–10].

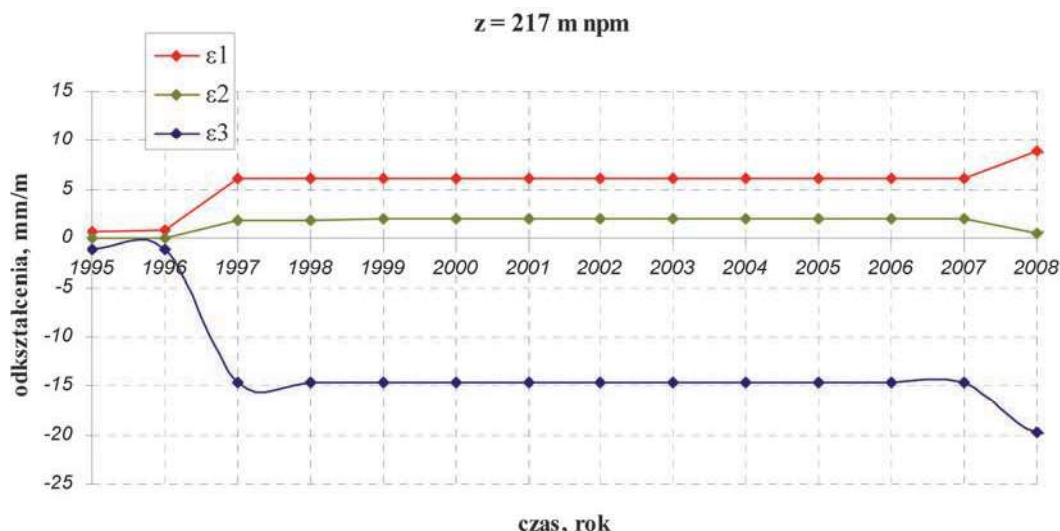
Obliczenia zrealizowane zostały przy użyciu oprogramowania komputerowego DefkWin [14, 19]. Odształcenia liniowe i postaciowe nieskończone małego elementu określone zostały w oparciu o równania Cauchy'ego [20–21]. Obliczony został pełen tensor odkształcenia, a odkształcenia główne określono za pomocą równania (2).

- Do obliczeń przyjęto następujące wartości parametrów:
- współczynnik kierowania stropem, dla eksploatacji zawalowej: $a=0.8$,
 - tangens kąta zasięgu wpływów głównych: $\operatorname{tg}\beta = 2.0$,
 - parametr w związku Awierszyna: $B = 0.32r$,
 - obszar eksploatacyjny: $d = 0$ m.

Wymienione wartości parametrów przyjęte zostały dla wszystkich parcel - tabela 1.

Obliczenia wykonane zostały dla punktów zlokalizowanych w stropie wyrobiska. Określono asymptotyczny stan deformacji, przyjmując założenie o liniowej zmienności promienia zasięgu wpływów w górotworze.

Deformacje obliczone zostały dla wybranych przedziałów czasowych eksploatacji. Łącznie przeanalizowano 14 położań frontu eksploatacyjnego, od początku 1995 roku do czasu, w którym na powierzchni rozpoznano zapadlisko. Ze względu



Rys. 4. Rozkład odkształceń górotworu w stropie analizowanego wyrobiska

Fig. 4. Distribution of strain in the roof of the considered gallery

na znaczną objętość otrzymanych wyników obliczeń, poniżej prezentowane są rezultaty uzyskane dla jednego punktu w stropie wyrobiska – tabela 3, rys. 4.

W nawiązaniu do uzyskanych wyników obliczeń (tabela 3; rys. 4) można uznać, że prowadzone od lat 90. roboty górnicze w znaczący sposób wpłynęły na stan deformacji górotworu w analizowanym rejonie. Eksploatacja prowadzona w latach 1995 – 1996 w pokładzie 334/2 ścianą 5 praktycznie nie oddziaływała na analizowane wyrobisko. Znaczące wpływy wystąpiły po wybraniu ściany 5a prowadzonej w tym samym pokładzie w latach 1996–1997. Parcela eksploatowana na głębokości 323 m, wywołała deformacje o charakterze skróceń i wydłużeń. Największe skrócenie względne pod koniec roku 1997 sięgnęło wartości -13.5 mm/m, największe wydłużenie względne wyniosło ok. 5.4 mm/m. Prowadzona w kolejnych latach eksploatacja praktycznie nie miała wpływu na analizowany obszar. Dokonana w roku 2008 eksploatacja w pokładzie 349 wpłynęła znacząco na stan odkształcenia górotworu w sąsiedztwie analizowanego wyrobiska. Największy wpływ miała eksploatowana bezpośrednio pod pustką ściana 8b. Po jej wybraniu wartości wskaźników deformacji górotworu wzrosły, osiągając w stropie wyrobiska maksimum. Największe skrócenia względne sięgnęły -18.66

mm/m, największe wydłużenia względne wyniosły ok. 2 mm/m. Na tej podstawie można wnioskować, że przy tym stanie odkształcenia w otoczeniu wyrobiska wystąpiła utrata stateczności górotworu.

4. Ocena stateczności górotworu w otoczeniu pustki w oparciu o odkształceniowy warunek stanu granicznego

W dalszych analizach przyjęto, że utrata stateczności górotworu w otoczeniu płytkich wyrobisk następuje wtedy, gdy jego odkształcenia wywołane eksploatacją sięgają wartości granicznej. Stąd, dla oceny stateczności skorzystano z warunku M. Kwaśniewskiego [11-12], zgodnie z którym odpowiadające granicy wytrzymałości oktaedryczne odkształcenie postaciowe jest liniowo rosnącą funkcją największego odkształcenia głównego (największego skrócenia) (3). Hipotezę tę wyraża równanie

$$\gamma_{oct} = a + b\epsilon_1 \quad (3)$$

gdzie:

ϵ_1 – największe odkształcenie główne (największe skrócenie), mm/m

Tabela 3. Deformacje górotworu w stropie wyrobiska dla kolejnych przedziałów czasowych

Table 3. Rock mass deformations in the roof of the gallery for consecutive time intervals

Lp.	Początek symulacji	Koniec symulacji	ϵ_x mm/m	ϵ_y mm/m	ϵ_z mm/m	γ_{xy} mm/m	γ_{yz} mm/m	γ_{xz} mm/m	ϵ_1 mm/m	ϵ_2 mm/m	ϵ_3 mm/m
1	01-01-1995	31-12-1995	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.02	0.00	0.00
2	01-01-1995	31-12-1996	0.07	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.03	0.08	0.00	-0.02
3	01-01-1995	31-12-1997	-6.37	-1.14	1.28	5.38	-2.93	6.94	5.39	1.88	-13.50
4	01-01-1995	31-12-1998	-6.37	-1.14	1.28	5.38	-2.93	6.94	5.39	1.88	-13.50
5	01-01-1995	31-12-1999	-6.37	-1.06	1.27	5.35	-2.91	6.93	5.38	1.92	-13.45
6	01-01-1995	31-12-2000	-6.37	-1.06	1.27	5.35	-2.91	6.93	5.38	1.92	-13.45
7	01-01-1995	31-12-2001	-6.37	-1.06	1.27	5.35	-2.91	6.93	5.38	1.92	-13.45
8	01-01-1995	31-12-2002	-6.37	-1.06	1.27	5.35	-2.91	6.93	5.38	1.92	-13.45
9	01-01-1995	31-12-2003	-6.37	-1.06	1.27	5.35	-2.91	6.93	5.38	1.92	-13.45
10	01-01-1995	31-12-2004	-6.37	-1.06	1.27	5.35	-2.91	6.93	5.38	1.92	-13.45
11	01-01-1995	31-12-2005	-6.37	-1.04	1.26	5.34	-2.90	6.93	5.37	1.92	-13.44
12	01-01-1995	31-12-2006	-6.37	-1.04	1.26	5.34	-2.90	6.93	5.37	1.92	-13.44
13	01-01-1995	31-12-2007	-6.37	-1.04	1.26	5.34	-2.90	6.93	5.37	1.92	-13.44
14	01-01-1995	31-12-2008	-10.30	-1.86	2.22	5.73	-2.77	10.49	8.20	0.52	-18.66

a – stała materiałowa, mm/m
 b – stała materiałowa.

Wartości stałych materiałowych określa się na podstawie badań laboratoryjnych przeprowadzonych dla próbek skalnych. Parametry a i b zależą od: rodzaju skały, jej cech mineralogiczno-petrograficznych tj. składu mineralnego, rozkładu i wielkości ziaren oraz rodzaju spoiwa.

Wartości liczbowe parametrów a i b ustalone zostały przez M. Kwaśniewskiego [11, 12] dla piaskowca z kopalni Rozbark oraz kilku piaskowców i łożupku z terytorium Japonii. Wartości parametru a wahają się w granicach od -0,73 mm/m do 3,41 mm/m, parametru b od 0,945 do 1,853. Wykorzystując wartości parametrów a i b podane w pracy [11], a także biorąc pod uwagę rodzaj skały zalegającej w stropie wyrobiska oraz uzyskane wyniki obliczeń, przyjęto wartość parametru a równą 3,4 mm/m, a parametru b równą 1,0.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki oceny stateczności skał w stropie wyrobiska ($z=217$ m n.p.m), nad którymi na powierzchni wystąpiło zapadlisko. Wyniki te uzyskano w oparciu o odkształceniowy warunek stanu granicznego. Wartości oktaedrycznych odkształceń postaciowych wywołanych eksploatacją górnictwem obliczono w oparciu o równanie (4) od czasu powstania wyrobiska (ewentualnej pustki) do czasu, kiedy na powierzchni wystąpiło zapadlisko. W analizach tych, sugerując się stosowaną w tej dziedzinie nauki konwencją znaków, wydłużeniom przypisano znak ujemny, a skróceniom znak dodatni.

$$\gamma_{oct} = \frac{2}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2} \quad (4)$$

Analizując wartości oktaedrycznego odkształcenia postaciowego można zauważyć wyraźny wpływ prowadzonej eksploatacji na górotwór w rejonie wyrobiska. W roku 1997 wartość γ_{oct} sięgnęła 17,9 mm/m. Była to wartość mniejsza od wartości granicznej. Kolejny przyrost odkształcenia wywołała eksploatacja prowadzona w roku 2008. Wartość oktaedrycznego odkształcenia postaciowego wyniosła ponad 24 mm/m. Jak wskazują wyniki oceny stateczności górotworu, wartość ta

była większa od granicznej. W myśl zastosowanego odkształceniowego warunku stanu granicznego, w stropie wyrobiska stan graniczny został przekroczony. Na tej podstawie można uznać, że w wyniku oddziaływania wpływów eksploatacji ściany 8b wyrobisko utraciło swą stateczność, a potwierdzeniem tej hipotezy jest rozpoznane na powierzchni zapadlisko.

Do rozważań wprowadzono również pojęcie wyężenia, będącego miarą niebezpieczeństwa wystąpienia stanu granicznego w górotworze w złożonym stanie naprężenia. Wyężenie górotworu określone zostało w oparciu o równanie (5)

$$w = \frac{\gamma_{oct}}{F \gamma_{oct}} \quad (5)$$

γ_{oct} – postaciowe odkształcenie oktaedryczne w kolejnych przedziałach czasu, mm/m

γ_{oct} – postaciowe odkształcenie oktaedryczne na granicy wytrzymałości, mm/m.

Przyjęto przy tym, że:

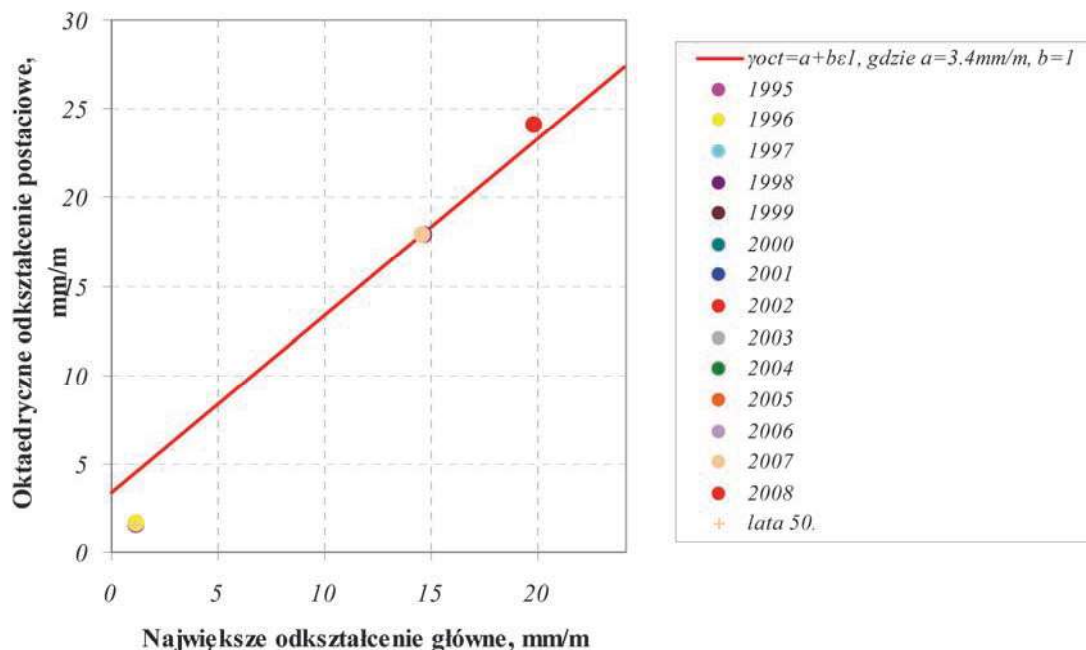
dla $0 \leq w < 1$ – w górotworze nie wystąpił stan graniczny,
dla $w \geq 1$ – w górotworze wystąpił stan graniczny.

W tabeli 4 przedstawione zostały wartości wyężenia górotworu w płaszczyźnie stropu dla wszystkich stadiów obliczeniowych. Wyniki obliczeń potwierdzają rezultaty prowadzonych badań.

5. Podsumowanie

Ocena odkształceń górotworu w sąsiedztwie płytkich wyrobisk i wykorzystanie właściwego warunku stanu granicznego stanowi skuteczny sposób oceny ich stateczności, a uzyskane wyniki mogą być dodatkowym czynnikiem pomocniczym w analizach dotyczących możliwości występowania deformacji nieciągłych.

Stan odkształcenia górotworu w sąsiedztwie płytkich wyrobisk można określić przy użyciu metod modelowania ma-



Rys. 5. Wyniki oceny stateczności skał zalegających w stropie wyrobiska, nad którym na przełomie 2008/2009 roku rozpoznane zostało zapadlisko

Fig. 5. Results of stability assessment for rocks located in the roof of the gallery, above which the sinkhole was recognized at the turn of 2008 and 2009

Tabela 4. Wyłączenie górotworu w stropie analizowanego wyrobiska**Table 4. Rock mass effort in the roof of the considered gallery**

Stadia obl.	$\gamma_{\text{ocł}}$ mm/m	$\gamma_{\text{ocł}}^{\text{Fy}}$ mm/m	w
50	1.53	5.13	0.30
1995	1.55	4.53	0.34
1996	1.61	4.55	0.35
1997	17.91	18.03	0.99
1998	17.91	18.03	0.99
1999	17.86	17.98	0.99
2000	17.86	17.98	0.99
2001	17.86	17.98	0.99
2002	17.86	17.98	0.99
2003	17.86	17.98	0.99
2004	17.86	17.98	0.99
2005	17.85	17.97	0.99
2006	17.85	17.97	0.99
2007	17.85	17.97	0.99
2008	24.11	23.19	1.04

tematycznego. Określone przy użyciu tych metod deformacje, a w szczególności ich zmiany wywołane eksploatacją górnictwem stanowią, wespół z warunkiem stanu granicznego podstawę oceny stateczności płytkich wyrobisk.

Z przeprowadzonych analiz i obliczeń wynika, że płytkie wyrobiska utrzymują swą stateczność przez długi okres czasu. Na tej podstawie można przypuszczać, że w górotworze na małych głębokościach przez wiele lat po zakończeniu użytkowania wyrobisk nadal istnieje wiele pustek. Stanowią one mogą zagrożenie wystąpienia na powierzchni deformacji nieciągłej, zwłaszcza wtedy, gdy w rejonie prowadzona jest dalsza eksploatacja, która skutkowałą będzie znaczącym przyrostem odkształceń górotworu i w konsekwencji osiągnięciem granicznego stanu odkształcenia.

Literatura

- Borecki M.*: Mechanika budowli podziemnych. Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 904. Gliwice 1980.
- Chudek M., Janusz W., Zych J.*: Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”, s. „Górnictwo” 1988, z. 141
- Chudek M.*: Mechanika górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 956/61. Gliwice 1981.
- Cristescu N., Paraschiv I.*: The optimal shape of rectangular – like caverns and galleries. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1995, 32(4).
- Itasca Consulting Group Inc., 3DEC, User’s Guide, Minneapolis 2005b.
- Itasca Consulting Group Inc., FLAC 3D, User’s Guide, Minneapolis 2005a.
- Jendryś M., Szafuła K.*: Numeryczna analiza stanu odkształcenia górotworu w sąsiedztwie płytkich wyrobisk porudnych – w publikacji
- Kłeczek Z.*: Geomechanika górnictwa. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
- Knothe S.*: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa 1953, t.1, z.1.
- Knothe S.*: Prognozowanie wpływów eksploatacji górnictwa. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1984.
- Kwaśniewski M., Takahashi M.*: Strain-based failure criteria for rocks: State of the art and recent advances. Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering (Proceedings of the European Rock Mechanics Symposium EUROROCK 2010, Lausanne, June 15-18, 2010). Leiden, CRC Press/Balkema 2010.
- Kwaśniewski M.*: Odształceniowy warunek stanu granicznego skał. Przegląd Górniczy, 2010, Nr 12.
- Sawin G. N.*: Stress Concentration around Holes. McGraw – Hill, New York 1961.
- Strzałkowski P., Ścigala R.*: Software for predictions of underground mining influences on the land surface and rock mass. Międzynarodowa Konferencja “Geotechnics 2000”. Wysokie Tatry – Podbanske, Słowacja 2000.
- Strzałkowski P.*: Ochrona środowiska na terenach górniczych. Wybrane problemy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2007.
- Strzałkowski P.*: Problem stateczności płytkich pustek w górotworze, a możliwość powstania zapadliska na powierzchni. „Przegląd Górniczy” 2014, Nr 12.
- Strzałkowski P.*: Zarządy ochrony terenów górniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2010.
- Szafuła K.*: Wpływ eksploatacji górnictwa na stateczność płytkich wyrobisk porudnych i występowanie deformacji nieciągłych. Praca doktorska (niepublikowana). Gliwice 2011.
- Ścigala R.*: Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni wywołanych podziemną eksploatacją górnictwa. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2008.
- Walczak J.*: Wytrzymałość materiałów oraz podstawy teorii sprężystości i plastyczności. Tom I. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Łódź – Warszawa – Kraków 1963.
- Walczak J.*: Wytrzymałość materiałów oraz podstawy teorii sprężystości i plastyczności. Tom II. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Łódź – Warszawa – Kraków 1959.