

*Andrzej Kowalski**

SPECYFIKA DEFORMACJI POWIERZCHNI DLA DZISIEJSZEGO POLSKIEGO GÓRNICTWA WĘGLA KAMIENNEGO

1. Perspektywy i zaszczości górnictwa węgla kamiennego

Według stanu na 31.12.2005 r. zasoby operatywne w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) wynoszą około 3,84 mld ton, w LZW około 205 mln ton. Wystarczalność zasobów węgla kamiennego jest różnie określana i w zależności od przyjętych kryteriów [1] szacuje się ją na 30–40 lat. Należy tu zwrócić uwagę na istotną okoliczność, która będzie mieć znaczenie dla żywotności kopalń. Od początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku nie wyznacza się filarów ochronnych. Zakłada się, że eksploatację będzie się tak projektować, aby chronić powierzchnię. Przez to zasoby przemysłowe są zawyżone. Przykładowo, w KWK „Halemba”, zbudowanie autostrady A4 zamroziło około 70 mln ton już udostępnionych zasobów operatywnych.

Eksploatacja węgla kamiennego w GZW jest prowadzona od ponad 300 lat. Według przeprowadzonego szacunku za okres ostatnich siedemdziesięciu lat wyeksploatowano około 8,44 mld ton, co uwzględniając zasoby operatywne przewidywane do eksploatacji do głębokości 1000 m, stanowi około 70% wszystkich zasobów.

Utworzenie licznych krawędzi w wielopokładowym złożu, w przybliżeniu w jednej płaszczyźnie pionowej, dodatkowo ograniczać będzie możliwość eksploatacji pokładów o znaczeniu przemysłowym z uwagi na zagrożenie powierzchni liniowymi deformacjami nieciągłymi.

Problem zagrożeń powierzchni w Polsce w dzisiejszych warunkach prowadzenia intensywnej eksploatacji górniczej jest analogiczny jak w górnictwie europejskim, które od dawna kieruje się ekonomiczną stroną produkcji, Sroka i Hejmanowski [9], Dubiński, Tajduś [2].

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

2. Zmiana warunków prowadzenia eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego

Podstawowe dane charakteryzujące podziemną eksploatację węgla kamiennego w Polsce w 1990 i 2006 r. przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Podstawowe dane charakteryzujące eksploatację w 1990 i 2006 r.

Rodzaj danej	Rok 1990	Rok 2006	Uwagi
Liczba kopalń	70	31	
Wydobycie, tony	147,4	94,3	
Średnia długość frontu eksploatacyjnego, m	150,6	222,3*	* z 2005 r
Wydobycie z jednej ściany, tony	863	3060	
Liczba ścian, m	766	134	
Liczba ścian na kopalni	10,9	4,3	
Średnia głębokość, m	–	680	
Średnia grubość, m	2,3	2,6	
Średni postęp, m/dobę	1,9	~4,0	
Udział wydobycia z podsadzki, %	16,7	4,4*	* z 2005 r. [5]

Z tabeli 1 wynika, że warunki prowadzenia eksploatacji węgla kamiennego w latach 1990–2006 zmieniły się, zwłaszcza w zakresie wzrostu wydajności, długości i dobowych postępów ścian oraz zmniejszenia udziału eksploatacji z podsadzką hydrauliczną.

Obecnie w ciągu roku kopalnia węgla kamiennego prowadzi eksploatację najczęściej czterema lub pięcioma ścianami z zawalem stropu. Długość ściany eksploatacyjnej wynosi od 150 do 400 m. Zazwyczaj są to ściany prowadzone pojedynczo, kolejno jedna po drugiej. Średnia głębokość eksploatacji wynosi 680 m, a wysokość 2,5 m. Eksploatacja jest prowadzona w górotworze naruszonym wcześniejszą eksploatacją, a także w polu gdzie w otoczeniu ściany znajduje się strefa uskokowa lub granica filara ochronnego albo oporowego. Jest to eksploatacja prowadzona w warunkach zagrożenia tapaniami, często z zagrożeniem metanowym (i pożarowym w przypadku eksploatacji grubego pokładu). Postęp frontu ścianowego wynosi średnio 4,0 m/dobę, co w praktyce znaczy, że w dni robocze wynosi około 7 m, jeśli nie ma ograniczeń z uwagi na zagrożenia naturalne. Rekordowe postępy ścian wynoszą 16 m/dobę.

Eksploatacja z podsadzką hydrauliczną zanika, obecnie (lata 2006 i 2007) z podsadzką taką eksploatują cztery kopalnie (5–6 ścian) pod: Bytomiem (Kopalnia „Bobrek-Centrum”, ruch Centrum), dzielnicą Ligota w Katowicach (Kopalnia „Wujek”), oraz pod autostradą A4 (Kopalnia „Wieczorek” i drogą krajową Bielsko – Katowice (Kopalnia „Staszic”).

3. Deformacje powierzchni spowodowane eksploatacją frontem ścianowym

3.1. Typowe dane ściany eksploatacyjnej

Przeciętne dane geologiczno-górnictwa charakteryzujące w 2007 r. eksploatację pojedynczej ściany wynoszą:

- eksploatacja ściany jest prowadzona z zawałem stropu, dla którego współczynnik eksploatacyjny wynosi $a = 0,8 \div 0,9$,
- wysokość eksploatacji 2,5 m,
- głębokość eksploatacji $H = 680$ m, zaleganie pokładu prawie poziome,
- parametr górotworu $\tan \beta = 2,0$, górotwór jest zbudowany z na przemian zalegających warstw ilowców i piaskowców, który był naruszony wcześniejszą eksploatacją, górotwór słaby,
- długość ściany $d = 275$ m,
- wybieg ściany około 1000 m,
- postęp ściany w dni robocze 7 m, w soboty i niedziele przerwy w eksploatacji.

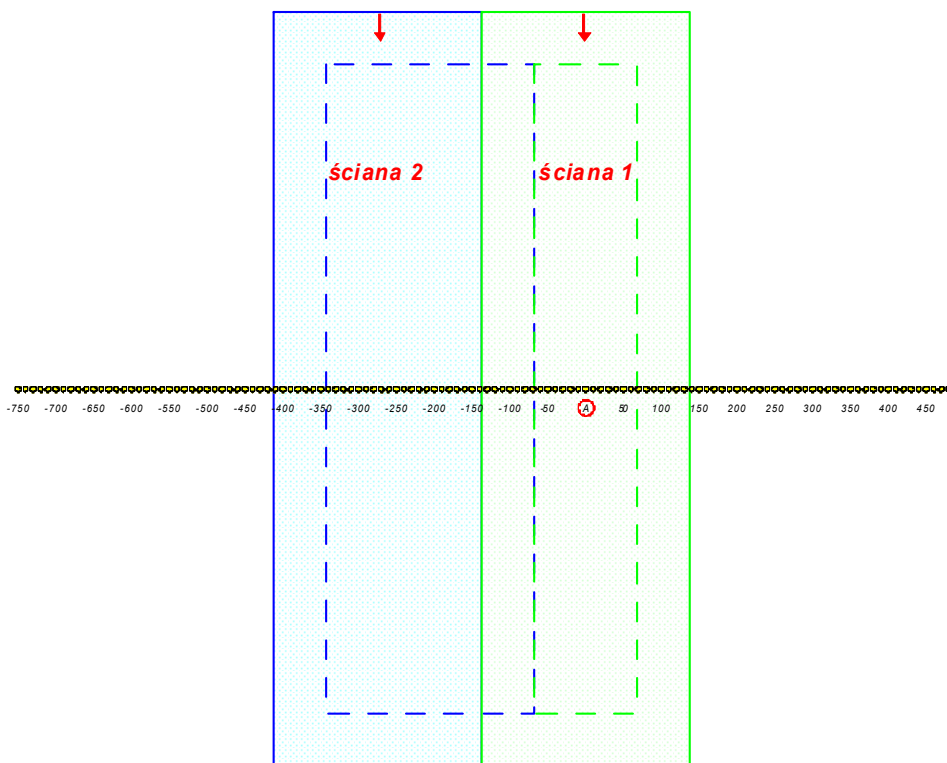
3.2. Wpływ długości ściany i frontu eksploatacyjnego na rozkład deformacji powierzchni

Dla wykazania wpływu długości ściany i frontu eksploatacyjnego na rozkład deformacji powierzchni, przeanalizowano klasyczny przykład: eksploatacji dwóch ścian, każda o długości 275 m. Eksploatacja prowadzona w nowym polu w pokładzie, najpierw ściana 1, a po jej zakończeniu — ściana 2. Schemat eksploatacji i usytuowania położonej prostopadle do postępu ścian, linii punktów, w których obliczono wskaźniki deformacji, przedstawiono na rysunku 1.

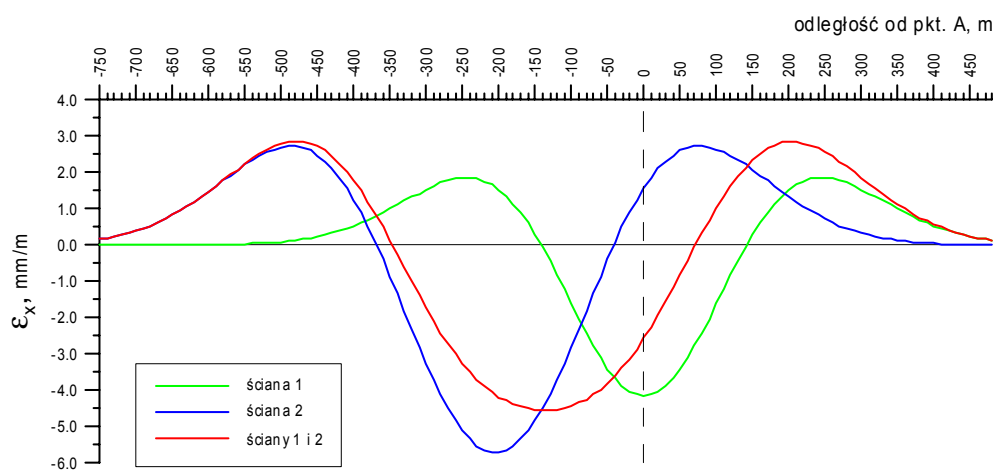
Na rysunku 2 przedstawiono obliczone ustalone rozkłady odkształceń poziomych, jakie wystąpią po zakończeniu eksploatacji. W obliczeniach uwzględniono ugięcie stropu w rejonie krawędzi eksploatacyjnej, przez zastosowanie tak zwanego obrzeża eksploatacyjnego, które przeciętnie wynosi $p = 0,1 H$ [4].

Z rysunku 2 wynika, że nad polem eksploatacyjnym ściany 1 największe odkształcenia poziome (co do wartości bezwzględnej) wynoszą 4,1 mm/m (krzywa 1), a dla drugiej ściany — 5,7 mm/m (krzywa 2). Równoczesna eksploatacja tych ścian (krzywa 3) powoduje odkształcenia poziome analogiczne jak pod wpływem eksploatacji ściany 1.

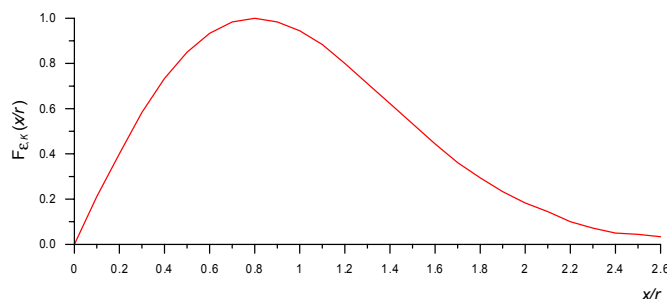
Sposób eksploatacji tzw. długim frontem ścianowym, złożonym z kilku ścian odpowiednio usytuowanych względem siebie, był podstawowym sposobem minimalizacji deformacji powierzchni w filarach ochronnych. Wykazano to na rysunku 3, na którym przedstawiono wpływ długości frontu eksploatacyjnego na kształtowanie się największych deformacji (odkształceń poziomych i krzywizn pionowych). Długość frontu zestandaryzowana jest parametrem r , promieniem rozproszenia wpływów w teorii Budryka–Knothego.



Rys. 1. Schemat eksploatacji pojedynczymi ścianami i frontem utworzonym z dwóch ścian oraz usytuowania linii punktów obliczeniowych i wyróżnionego punktu A do obliczenia deformacji powierzchni



Rys. 2. Kształtowanie się odkształceń poziomych w kierunku prostopadłym do biegu ścian



Rys. 3. Wpływ zestandaryzowanej długości frontu eksploatacyjnego na kształtowanie się największych odkształceń poziomych (i krzywizn) w środku długości frontu ścianowego

Eksploatacja jedną ścianą, której długość jest często zbliżona do tzw. niebezpiecznego paska, w sposób zasadniczy (prawie o 100%) zwiększa deformacje powierzchni w porównaniu do eksploatacji prowadzonej długim frontem. Dla analizowanej średniej głębokości ($H = 680$ m) i $\tan \beta = 2$, szerokość niebezpiecznego paska wyniesie $d = 0,8$ $r = 272$ m, co jest zbliżone do typowej długości ściany!

3.3. Dynamika eksploatacji

Problem deformacji nieustalonych (chwilowych, zależnych od czasu t) jest obecnie szczególnie istotny, z uwagi na dobowe prędkości eksploatacji oraz przerwy w jej prowadzeniu w sobotę i niedzielę oraz inne dni świąteczne. Przed 1990 r. dobowe prędkości wynosiły $1,5 \div 2,0$ m, a eksploatację prowadzono w sposób prawie ciągły. Zmiany nastąpiły po 1990 r., kiedy wprowadzono na szeroką skalę wysokowydajne kompleksy wydobywcze. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki obliczonych nieustalonych obniżen i odkształceń poziomych w kierunku biegu ściany i prostopadłym do jej biegu, w punkcie A położonym w środku ściany 1 (rys. 1).

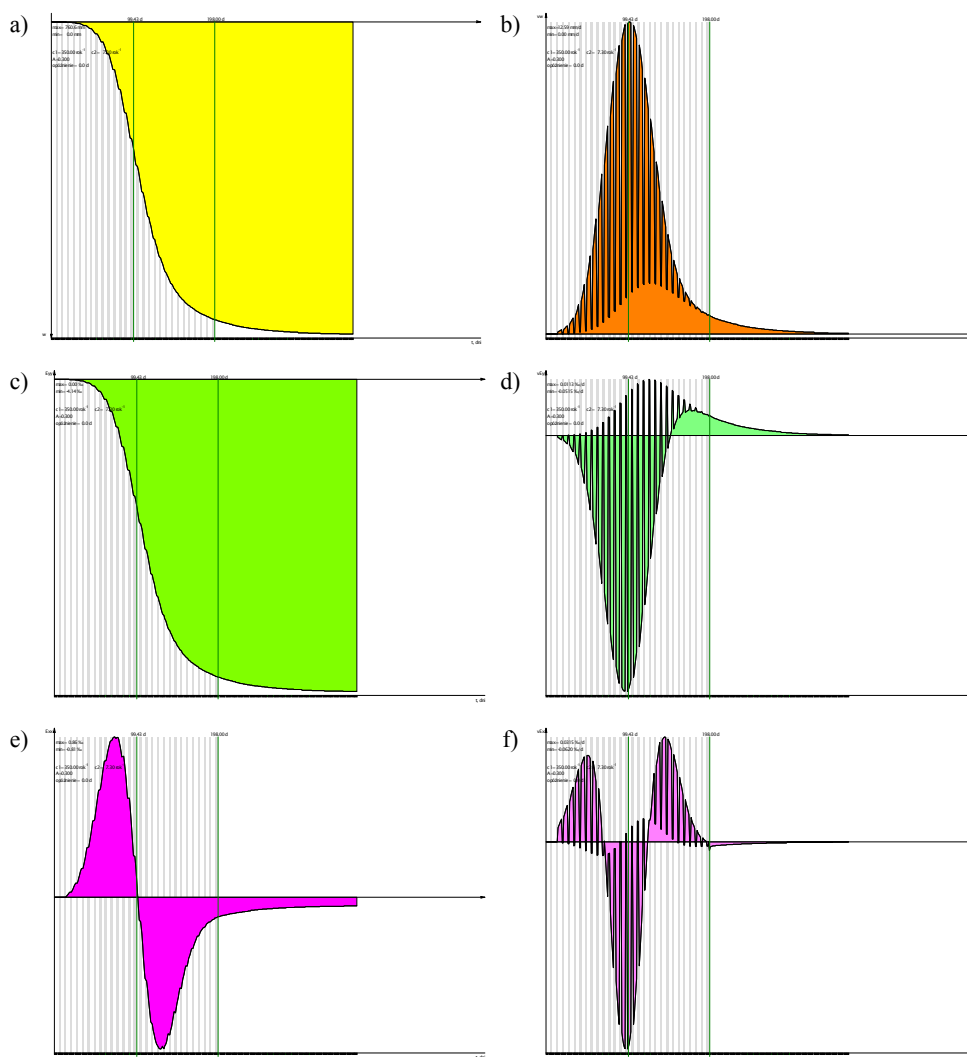
Do tych obliczeń wykorzystano uogólnioną funkcję czasu oraz jej parametry dla górotworu słabego, wynoszące przeciętnie $A_1 = 0,7$, $A_2 = 1 - A_1 = 0,3$, $c_1 = 350 \text{ rok}^{-1}$ i $c_2 = 7,3 \text{ rok}^{-1}$. Postać funkcji i parametry przyjęto na podstawie badań dotyczących nieustalonych deformacji powierzchni prowadzonych w ostatnich piętnastu latach w Głównym Instytucie Górnictwa [4, 6].

Wyniki obliczeń deformacji nieustalonych wynoszą:

- obniżenie końcowe 0,76 m,
- prędkość obniżenia 12,6 mm/dobę,
- odkształcenie poziome w kierunku prostopadłym do biegu ściany – 4,1 mm/m,
- prędkości odkształcenia poziomego w kierunku prostopadłym do biegu ściany od +0,01 do –0,05 mm/m/dobę,
- odkształcenie poziome w kierunku biegu ściany od +0,85 do –0,8 mm/m,
- prędkości odkształcenia poziomego w kierunku biegu ściany od +0,03 do –0,06 mm/m/dobę.

W przypadku eksploatacji ściany 2 jako drugiej, dynamika narastania deformacji nad jej środkiem będzie prawie dwukrotnie większa.

Określony współczynnik zmniejszenia największych niestabilnych poziomych odkształceń w stosunku do ustalonych wynosi nad frontem ściany 1: dla poziomych odkształceń o charakterze rozciągania 0,82, a dla poziomych odkształceń o charakterze ściskania 0,74.



Rys. 4. Rozkłady niestabilnych deformacji powierzchni w otoczeniu punktu w środku ściany 1 eksploatowanej z przerwami: a) obniżenia; b) prędkości obniżenia; c) poziome odkształcenia w kierunku prostopadłym do biegu ściany; d) prędkości poziomych odkształceń w kierunku prostopadłym do biegu ściany; e) poziome odkształcenia w kierunku biegu ściany; f) prędkości poziomych odkształceń w kierunku biegu ściany

Z przedstawionego przykładu obliczeniowego wynika (rys. 4), że prowadzenie eksploatacji z przerwami, jak potwierdzają to wyniki pomiarów wskaźników deformacji i prędkości ich narastania, powoduje narastanie deformacji skokowo i w stosunkowo krótkim czasie po jej dokonaniu. Na rysunku 4 zaznaczono w tle szarymi liniami pionowymi dni postępu frontu ścianowego, oraz czarnymi liniami pionowymi dni przejścia frontu pod punktem i zakończenia eksploatacji.

Jest to nowa jakość deformowania się powierzchni dla współczesnych eksploatacji frontem ścianowym. Problem wpływu dużych prędkości eksploatacji, a zwłaszcza przerw w jej prowadzeniu, na uszkodzenia zabudowy powierzchni jest jeszcze przedmiotem badań. Niemniej jednak ograniczanie prędkości eksploatacji i ciągłość jej prowadzenia, stają się rygorami eksploatacji z uwagi na ochronę zabudowy powierzchni [6, 8].

4. Powstawanie liniowych deformacji nieciągłych

Pod pojęciem nieciągłych liniowych deformacji powierzchni rozumie się nieciągłości w postaci szczelin i stopni, które powstają pod wpływem eksploatacji prowadzonej na średnich i dużych głębokościach. Nieciągłości są zauważane głównie na drogach, placach, boiskach sportowych.

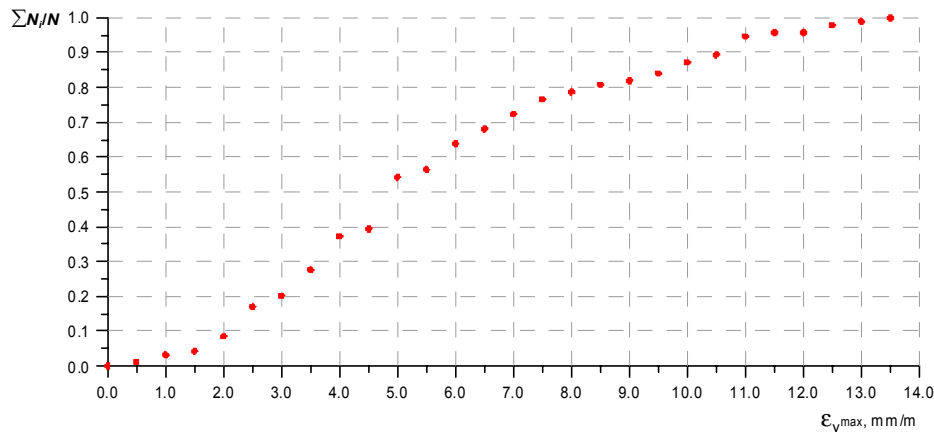
W GZW złożę jest wielopokładowe, cechujące się bogatą tektoniką. Eksploatacja jest prowadzona od ponad 300 lat, powstało już szereg wtórnych nieciągłości w górotworze. Z tego powodu pod wpływem eksploatacji kolejnych pokładów na powierzchni powstają nieciągłości, które występują w rejonach wychodni uskoków tektonicznych, krawędzi eksploatacyjnych w kilku pokładach, na granicach filarów ochronnych i pól eksploatacyjnych. W tych miejscach występuje sumowanie się odkształceń poziomych rozciągających, co powoduje przekroczenie stanów równowagi granicznej i powstawanie powierzchni poślizgów w górotworze lub gruncie.

Z kwerendy przeprowadzonej w 31 czynnych kopalniach węgla kamiennego w GZW zostało zarejestrowane około 420 nieciągłości w 25 kopalniach, najczęściej w kopalniach dawnych Spółek Gliwickiej i Rybnickiej oraz w obecnej Jastrzębskiej Spółce Węglowej.

Wysokości stopni wynosiły od 5 do 70 cm (sporadycznie), średnio 23 cm. Szerokości szczelin od 2 do 50 cm (sporadycznie), średnio 8 cm. Powstawały również struktury złożone ze stopni i szczelin.

Na rysunku 5 przedstawiono częstość występowania nieciągłości, to jest iloraz sumy N_i liczby nieciągłości, jakie wystąpiły w przedziale co 0,5 mm/m maksymalnych odkształceń poziomych od $\epsilon = 0$ do ϵ_i , oraz sumarycznej liczby N analizowanych nieciągłości.

Powstanie nieciągłości jest uwarunkowane nie tylko wystąpieniem dużych wartości odkształceń poziomych powierzchni o charakterze rozciągania, ale także spistością przypowierzchniowej warstwy gruntu, występowaniem uskoków tektonicznych, położeniem parcel eksploatacyjnych (najwięcej nieciągłości występuje w rejonie krawędzi startowej), krotnością eksploatacji oraz odstępem czasu między kolejnymi eksploatacjami (50% wystąpiło dla odstępu jednego roku).



Rys. 5. Zależność częstości występowania nieciągłości od odkształcenia poziomego powierzchni [3]

Z doświadczeń niemieckich wynika, że powstanie nieciągłości może spowodować prędkość eksploatacji i przerwy w jej prowadzeniu [9].

Uwzględniając złożoność powstawania nieciągłości, prowadzone są nadal badania w GIG w celu ich przewidywania w ujęciu probabilistycznym.

5. Zakończenie

Z wykonanej syntetycznej oceny aktualnych warunków prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej w kopalniach węgla kamiennego w Polsce, pomimo zwiększania się głębokości eksploatacji wynika, że dzisiejsze warunki górnicze zmieniły się w porównaniu do okresu przed 1990 rokiem.

Z uwagi na dynamikę deformacje występują:

- w krótkim czasie po dokonaniu eksploatacji elementarnej (jednodniowej),
- przerwy w prowadzeniu eksploatacji istotnie wpływają na prędkość narastania deformacji, które narastają w sposób skokowy,
- w przypadku występowania kumulacji krawędzi poeksploatacyjnych w górotworze, na powierzchni obserwuje się szczeliny i stopnie i złożone z nich struktury.

Możliwości stosowania profilaktyki górniczej do minimalizacji deformacji powierzchni stają się coraz bardziej ograniczone. Wynika to z następujących przyczyn:

- występowania zaszczości eksploatacyjnych,
- zmniejszające się zasoby operatywne,
- zanikanie eksploatacji z podsadzką hydrauliczną,
- koncentracji wydobycia — kopalnie prowadzą eksploatację dwoma lub trzema pojedynczymi ścianami, zwiększając długości i dobowe postępy ścian.

LITERATURA

- [1] *Darski J., Kicki J., Sobczyk E.*: Raport o stanie gospodarki zasobami węgla kamiennego. Studia Rozprawy Monografie 85, IGZiSM-PAN 2001
- [2] *Dubiński J., Tajduś A.*: Rola paliwa węglowego jako źródła energii pierwotnej. Przegląd Górniczy, 2, 2007, 9–16
- [3] *Kowalski A.*: O liniowych nieciągłościach powierzchni. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 12, Wyższy Urząd Górniczy 2005, 25–32
- [4] *Kowalski A.*: Nieustalone górnicze deformacje powierzchni w aspekcie dokładności prognoz. Prace Naukowe GIG, 871, 2007
- [5] *Kulczycki Z., Kujawski P.*: Eksploatacja kopalni pod terenami chronionymi. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 10, Wyższy Urząd Górniczy 2006, 29–34
- [6] *Kwiatek J.*: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Katowice, GIG 2002
- [7] Praca zbiorowa pod kierunkiem J. Popczyka: Polityka energetyczna Polski do 2025 — założenia. Katowice 2004
- [8] *Sroka A.*: Dynamika eksploatacji górniczej z punktu widzenia szkód górniczych. Kraków, Rozprawy, 58, IGSMiE PAN 1999
- [9] *Sroka A., Hejmanowski R.*: Zagrożenia powierzchni terenu w warunkach współczesnych technologii eksploatacji górniczej, [w:] Problemy eksploatacji górniczej pod terenami zagospodarowanymi. Praca zbiorowa pod redakcją J. Kwiatka, Katowice, GIG 2005, 506–511
- [10] *Turek M.*: Zmiany struktur kopalń i wskaźników techniczno-ekonomicznych w procesie restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego. Prace Naukowe GIG, 855, 2003

