

Deformacje powierzchni spowodowane częściową eksploatacją w górnictwie węgla kamiennego

Surface subsidence caused by roadway mining as partial extraction in hard coal mining industry



Dr hab. inż. Andrzej Kowalski
prof. GIG^{*)}



Mgr inż. Piotr Polanin^{*)}



Dr inż. Andrzej Walentek^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono wyniki geodezyjnych pomiarów deformacji powierzchni, obniżen i odkształceń poziomych (względnych zmian długości na odcinkach) z dwóch obszarów, gdzie prowadzona jest eksploatacja częściowa przez dwa, jedyne zakłady górnicze w Polsce systemem chodnikowym z pozostawieniem filarów węglowych. Ponadto przedstawiono wartości współczynnika eksploatacyjnego, który charakteryzuje stopień wybrania pokładu (wykorzystania złoża) oraz wykazano jego zależność od stopnia wykorzystania złoża. Wyniki polskich doświadczeń porównano z doświadczeniami kopalni Roadside z eksploatacji komorowo-filarowej w Stanach Zjednoczonych oraz z doświadczeniami kopalni Changxing w Chinach z eksploatacji prowadzonej chodnikami.

Abstract: This paper presents the results of surveys of subsidence and horizontal deformations (relative to changing length between observation points) from two mining areas where only two collieries in Poland extract hard coal seams using gateway mining technology with coal pillars. Furthermore, the operating indicator (exploitation of a deposit) values were presented and its relation from the degree of deposit exploitation demonstrated. The results of subsidence analysis from research areas in Poland were compared with the results of Roadside colliery in the United States, using room and pillar mining technology, and with the results of Changxing colliery in China which applied the roadway backfill coal mining method (RBCM).

Słowa kluczowe:

częściowa eksploatacja górnicza, deformacje powierzchni, analiza, prognoza

Keywords:

partial roadway mining, surface subsidence, analysis, prediction

1. Wstęp

Wydobycie węgla kamiennego w Polsce niemal w 100% prowadzone jest systemem ścianowym z zawalem stropu. System ten charakteryzuje się dużym współczynnikiem wykorzystania złoża. Niemniej jednak ma on negatywne skutki na zabudowę powierzchni, o czym świadczą obniżenia terenu. Liczna część kopalń w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym prowadzi eksploatację w obszarach górniczych zlokalizowanych w rejonie zurbanizowanym, co uniemożliwia w pełni stosowanie systemu ścianowego. W związku z tym, dla przedłużenia „istnienia” kopalń, podejmuje się próby wybierania złoża węgla kamiennego systemami alternatywnymi, do których zaliczyć można system chodnikowy z pozostawianiem ochronnych filarów węglowych. Ponadto,

trwają prace badawcze nad próbą wprowadzenia, w warunkach polskiego górnictwa, systemu komorowo-filarowego z wykorzystaniem samodzielnej obudowy kotwowej.

Pierwsze eksploatacje częściowe (alternatywne) prowadzone były w Polsce już w ubiegłym stuleciu, pod czułym nadzorem obiektami, tj. zakładami przemysłowymi, a także pod zwartą zabudową miejską. Pokłady węgla kamiennego eksploatowano pasami, które miały najczęściej szerokość 30 m, między którymi pozostawiano filary węglowe również o szerokości 30 m. Przestrzeń poeksploatacyjną likwidowano podsadzką hydrauliczną piaskową w 100% (Knothe 1958, 1984).

Współcześnie, od 2004r., w dwóch Zakładach Górniczych Siltech i Eko-Plus prowadzi się eksploatację pokładów węgla kamiennego chodnikami, pozostawiając między nimi ochronne filary węglowe o różnej szerokości. W ten sposób wybiera się resztkowe partie złoża węgla kamiennego „uwięzione”

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice

w filarach ochronnych dla szybów górniczych lub innych obiektów na powierzchni, w reaktywowanych kopalniach.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników geodezyjnych pomiarów deformacji powierzchni, obniżenia i odkształceń poziomych (względnych zmian długości na odcinkach), z zakończonych eksploatacji w tych zakładach. Ponadto, przedstawiono wartości wyznaczonego współczynnika eksploatacyjnego według polskiej teorii Knothego–Budryka (Knothe 1984). Wartości współczynnika eksploatacyjnego pozwoliły wykazać zależność kształtowania się deformacji powierzchni od stopnia wykorzystania złoża.

Wyniki polskich doświadczeń porównano z doświadczeniami z eksploatacji komorowo-filarowej ze Stanów Zjednoczonych oraz prowadzonej eksploatacji chodnikami w jednej z kopalń w Chinach.

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki badań, oprócz znaczenia poznawczego, mogą również zostać wykorzystane do projektowania eksploatacji w aspekcie ochrony powierzchni oraz do planowania profilaktyki budowlanej i monitorowania deformacji powierzchni.

2. Eksploatacja węgla kamiennego systemem chodnikowym w warunkach polskiego górnictwa

Eksploatacja złoża systemem chodnikowym polega na drążeniu równoległych do siebie wyrobisk korytarzowych o przekroju łukowym, pomiędzy którymi pozostawia się odpowiedniej szerokości ochronne filary węglowe. Filary te są niezbędne dla utrzymania stateczności kolejno wybieranych po sobie wyrobisk oraz dla zminimalizowania wartości obniżenia powierzchni. Dodatkowo, każdy z chodników po zakończeniu drążenia wypełnia się podsadzką hydrauliczną obecnie utworzoną z pyłów dymnicowych (odpad z elektrowni). Zadaniem podsadzki jest ograniczenie deformacji powierzchni, a także stanowi ona istotny element profilaktyki przeciwpożarowej, związanej z możliwością samozapłonu węgla w filarach węglowych.

2.1. Doświadczenia z ZG Siltech - Rejon Rokitnica

Pierwsze doświadczenia z eksploatacji chodnikowej w polu Rokitnica przedstawiono w publikacjach (Kowalski, Walentek 2013, Gruchlik i in. 2014, Kowalski 2015). Łącznie

wyekspluatowano cztery pokłady – kolejno 509, 507, 510 i 504. Zakres wybranej powierzchni poszczególnych pokładów był zróżnicowany, gdyż eksploatowano resztki pokładów pozostawione w szybowym filarze ochronnym zlikwidowanej kopalni „Pstrowski”. Największy zakres eksploatacji był w pokładzie 509, rys. 1. Eksploatację prowadzono na głębokościach od 270 m (pokład 504) do 400 m (pokład 510). Kąt zapadania pokładów wynosił do 5° w kierunku NNW. Szerokość wyrobisk chodnikowych wynosiła 5,6 m, a wysokość do 3,8 m. Pomiędzy chodnikami pozostawiono filary węglowe o szerokości 4,0 m, co pozwoliło uzyskać współczynnik wykorzystania złoża rzędu 58%. Wyrobiska eksploatacyjne zabezpieczono obudową łukową podatną, potem likwidowano je poprzez wypełnianie podsadzką z pyłów dymnicowych.

Na rys. 2 przedstawiono zakresy dokonanej eksploatacji chodnikami we wszystkich czterech pokładach, a także izolnie sumarycznych obniżenia powierzchni. Natomiast w tabeli 1 zestawiono wartości ekstremalnych wskaźników deformacji na poszczególnych etapach eksploatacji górniczej oraz wyznaczone parametry teorii Knothego–Budryka (Knothe 1958, 1986), którymi są:

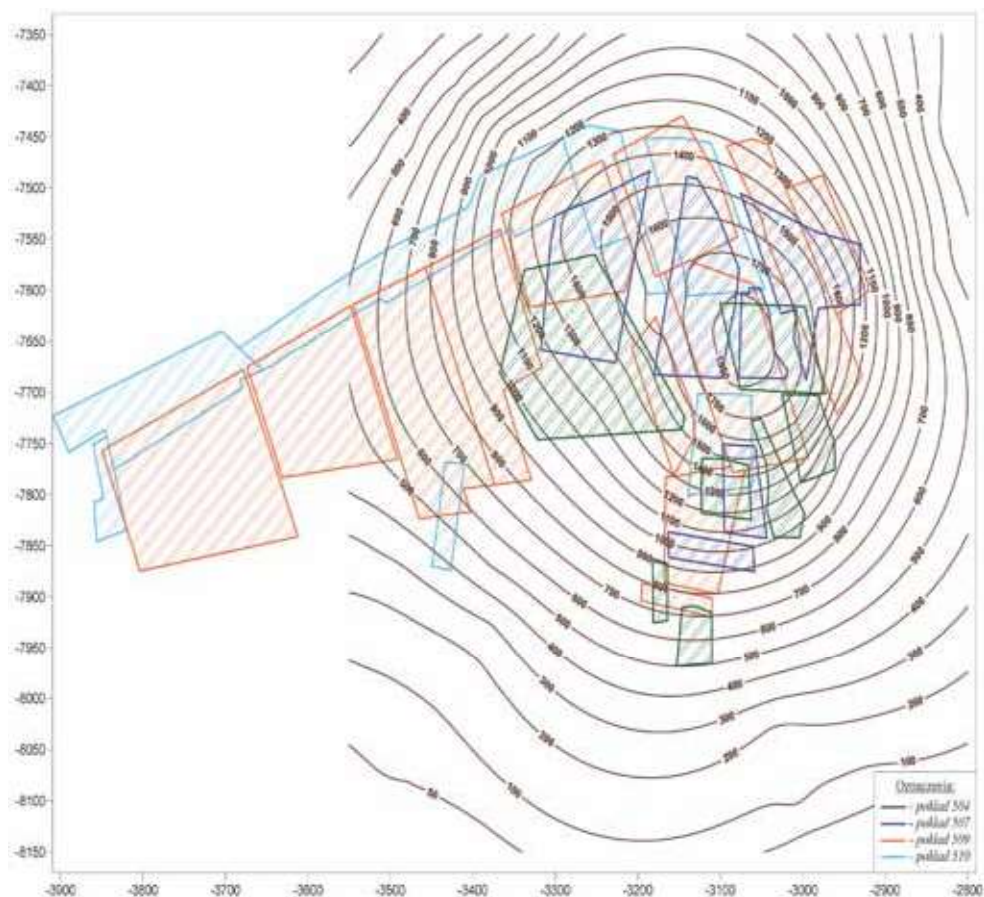
- współczynnik eksploatacyjny – a ,
- parametr górotworu, tzw. parametr rozproszenia wpływów głównych – $tg\beta$, który charakteryzuje zasięg wpływów eksploatacji, dla górotworu związłego jest mniejszy (zasięg większy) niż dla górotworu zbudowanego z warstw plastycznych.

Z tabeli nr 1 wynika, że:

- Na powierzchni wystąpiły sumarycznie największe obniżenia do 1,83 m oraz odkształcenia poziome na granicy II i III kategorii terenu górniczego.
- Wartości współczynników eksploatacyjnych wynoszące od 0,25 do 0,4 wskazują, że pozostawione filary węglowe o szerokości 4,0 m między chodnikami eksploatacyjnymi zostały w znacznej części zgniecione, co świadczy o małej ich stabilności.
- Występuje znaczny zasięg wpływów (parametr $tg\beta=0,9-1,3$), który interpretuje się wpływem reaktywacji starych zrobów otaczających rejony eksploatacji chodnikowej i sieci wyrobisk eksploatacyjnych w obrębie filara ochronnego (rys.1).



Rys. 1. Zakres eksploatacji dokonanej chodnikami w pokładzie 509 w ZG Siltech (Kowalski 2015)
Fig. 1. Roadway panels in the coal seam no. 509 – Siltech colliery (Kowalski, 2015)



Rys. 2. Izolinie obniżen spowodowane eksploatacją pokładów 504, 507, 509 i 510 (Kowalski 2015)
 Fig. 2. Contours of subsidence caused by the extraction of the coal seams no. 504, 507, 509 and 510 (Kowalski 2015)

Tabela 1. Zestawienie pomierzonych ekstremalnych wskaźników deformacji oraz wyznaczonych parametrów teorii Knothego-Budryka

Table 1. Summary of extreme values of vertical displacements and horizontal deformations and of determined parameters of the Knothe-Budryk theory

Etap eksploatacji	Pomierzone ekstremalne wskaźniki deformacji		Wyznaczone parametry teorii Knothego-Budryka		Eksploatowane pokłady
	obniżenia, m	odkształcenia poziome, mm/m	a	$\text{tg } \beta$	
Etap 1	0,67	+1,0 i -1,8	0,25-0,3	0,9-1,3	509
Etap 2	1,01	+1,6 i -2,2	0,25-0,4	1,0-1,3	509 i 507
Etap 3	1,83	+2,7 i -3,2	0,4	1,0	509, 507, 510 i 504

2.2. Doświadczenia z ZG Siltech - Rejon Biskupice

Rejon Biskupice położony jest w odległości 1 km na południowy wschód od pola Rokitnica. Obejmuje filar ochronny zlikwidowanego szybu Władysław i czynnej baterii koksowni. Eksploatację w pokładzie 509 prowadzono w 2015 r., w dwóch parcelach B1 i B2 (rys. 3), a w pokładzie 510 w latach 2015-2016 r. (rys. 4), w którym wyeksploatowano kolejne dwie parcele oraz sieć chodników technologicznych. W pokładzie 507, w 2016 r. od maja do października, wykonano jedynie 6 chodników technologicznych (rys. 5).

Podobnie jak w polu Rokitnica, w otoczeniu filara ochronnego wyeksploatowano pokłady węgla kamiennego głównie z podsadzką suchą, a także z zawałem stropu.

Wymiary chodników eksploatacyjnych były analogiczne jak w polu Rokitnica: wysokość 3,8 m, szerokość 5,6 m.

Natomiast filary między chodnikami miały szerokość od 8,0 do 20,0 m. W pokładzie 509 szerokości filarów wynosiły średnio 12 m, a w pokładzie 510 w parceli B1 średnio 13 m, a w parceli B2 średnio 11 m. Chodniki likwidowano przez podsadzenie podsadzką z pyłów dymnicowych z elektrowni. W pokładzie 507 głębokość eksploatacji wynosiła od 220 do 240 m, w pokładzie 509 wynosiła średnio 250 m, a w pokładzie 510 od 250 na południu do 300 m na północy. Pokład 509 zalega 5 m nad pokładem 510.

Sumarycznie wyeksploatowano 44 chodników, w tym: 6 chodników technologicznych w pokładzie 507, 14 w pokładzie 509 (3 technologiczne) oraz 24 chodniki w pokładzie 510, z czego 13 o charakterze technologicznym, 6 w parceli B1 (północnej) oraz 5 w parceli B2 (południowej). Współczynnik wykorzystania złoża w parcelach wahał się od 29% w pokładzie 509 do 33% w pokładzie 510.



Rys. 3. Eksploatacja chodnikami w pokładzie 509
Fig. 3. Roadway panels in the coal seam no. 509



Rys. 4. Eksploatacja chodnikami w pokładzie 510
Fig. 4. Roadway panels in the coal seam no. 510

Tabela 2. Zestawienie pomierzonych ekstremalnych wskaźników deformacji dla rejonu Biskupice oraz wartości wyznaczonych parametrów teorii Knothe-Budryka

Table 2. Summary of extreme values of vertical displacements and horizontal deformations and of determined parameters of the Knothe-Budryk theory for Biskupice area

Linie pomiarowe, lub grupy punktów	Największe obniżenie, m	Odkształcenie poziome, mm/m	Współczynnik eksploatacyjny, a	Parametr górotworu, $tg\beta$	Parametry proponowane do obliczeń teoretycznych
Nr 1	0,26	-1,3 - +1,5	0,18	1,0	a=0,21, tgβ=1,0
Nr 2	0,25	-1,0 - +0,7	0,79*	0,3*	
Nr 3	0,22	-1,2 - +1,2	0,23	0,7	
Nr 4	0,19	-0,8 - +0,8	0,23	0,5	
Grupa punktów	0,28		0,17	1,2	

* - odrzucono z uwagi na odstające wartości

Linie pomiarowe oraz izoliny obniżeń z rejonu Biskupiec przedstawiono na rys. 5, natomiast w tabeli 2 zestawiono wartości pomierzonych ekstremalnych wskaźników deformacji oraz wartości wyznaczonych parametrów teorii Knothego-Budryka, analogicznie jak dla pola Rokitnica.

Z wyników pomiarów wskaźników deformacji zamieszczonych w tabeli 2 wynika, że pomimo pozostawienia szerokich ochronnych filarów węglowych na powierzchni wystąpiły obniżenia wynoszące 0,24-0,28 m oraz odkształcenia poziome są w granicach wskaźników I kategorii terenu górniczego.

Warunki geologiczne dla rejonów Rokitnica i Biskupice są porównywalne, co upoważnia do porównywania wartości

współczynników eksploatacyjnych w zależności od szerokości pozostawionych filarów węglowych. I tak dla filarów o szerokości 4,0 m (wykorzystanie złoża w 58%) oraz filarów o szerokości średnio 12,0 m (wykorzystanie złoża średnio 31%) wartości współczynnika eksploatacyjnego zmniejsza się z 0,4 do 0,21, (rys. 6). Jest to istotne zmniejszenie współczynnika eksploatacyjnego, jednak jego wartości są znacznie większe niż w górnictwie amerykańskim, które są rzędu 0,1 przy 44% wykorzystaniu złoża (rozdział 5). W przypadku ZG Siltech na wartości parametrów teorii Knothego-Budryka mają wpływ zaszczości eksploatacyjne, które powodują zwiększenie współczynnika eksploatacyjnego i parametru kąta zasięgu wpływów głównych nawet do 45 stopni ($\text{tg}\beta=1,0$).



Rys. 5. Izoliny obniżeń spowodowane eksploatacją parcel w pokładach 507, 509 i 510

Fig. 5. Contours of subsidence caused by the extraction of coal seams no. 507, 509 and 510



Rys. 6. Zależność wartości współczynnika eksploatacyjnego od stopnia wykorzystania złoza dla ZG SILTECH

Fig. 6. Relationship between subsidence factor and coal recovery ratio determined for SILTECH colliery

2.3. Doświadczenia z ZG EKO-PLUS

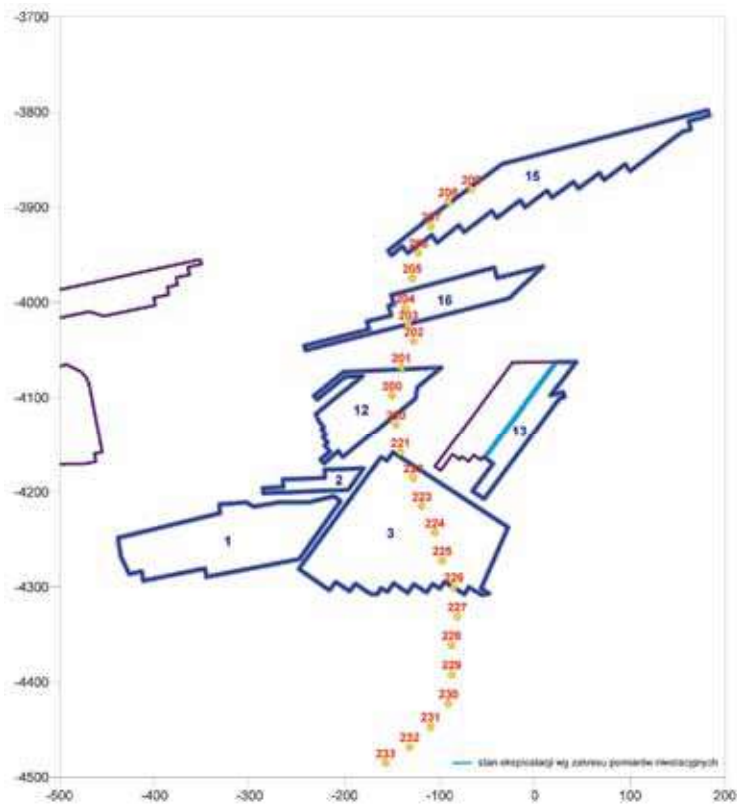
2.3.1. Warunki geologiczne i górnicze

Zakład Górniczy EKO-PLUS od 2007 r. eksploatuje pokład 510. Zakres dokonanej eksploatacji przedstawiono na rys. 7.

Chodniki eksploatacyjne podobnie jak w ZG Siltech są o przekroju łukowym. Mają szerokość 5,6 m i wyso-

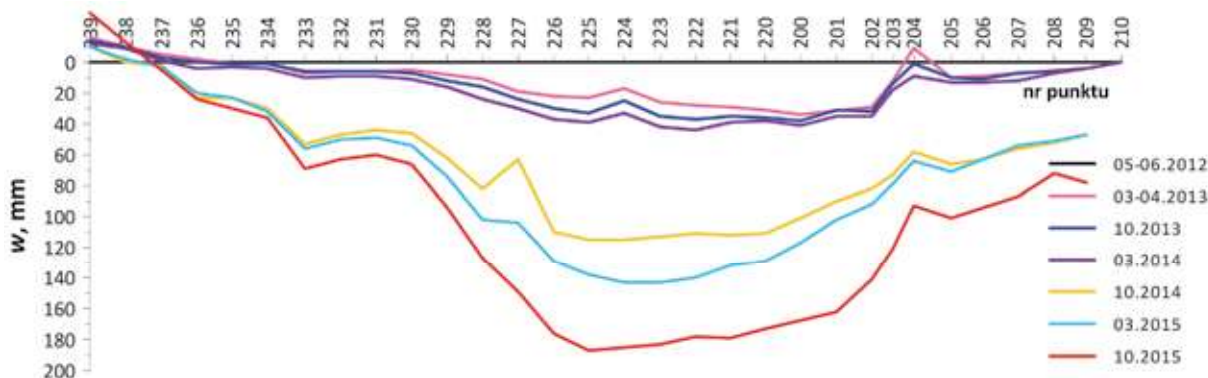
kość średnio 3,5 m. Pomiędzy nimi pozostawione są filary o szerokości 4,0 m. W tym przypadku współczynnik wykorzystania złoza wynosi około 59%. Po wydrążeniu chodniki eksploatacyjne są sukcesywnie likwidowane przez wypełnianie całego przekroju chodnika podsadzką z pyłów dymnicowych.

Głębokość eksploatacji zawiera się w przedziale od 410 m na północy do 620 m na południu. Nachylenie pokładu 510 wynosi od 10 do 30 stopni w kierunku południowo-wschodnim.

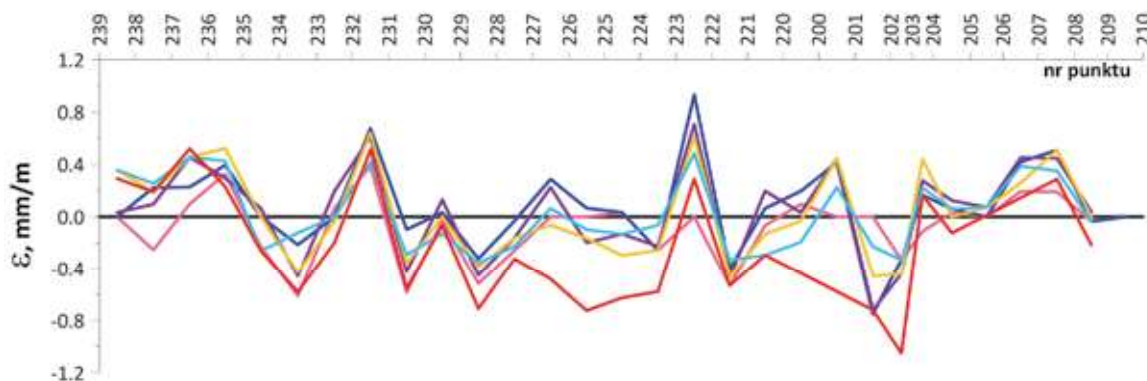


Rys. 7. Dokonana eksploatacja górnicza w pokładzie 510 i linia pomiarowa na powierzchni

Fig. 7. Observation line over panels in the coal seam no. 510



Rys. 8. Obniżenia powierzchni wzdłuż linii pomiarowej
 Fig. 8. Surface subsidence along the observation line



Rys. 9. Odskształcenia poziome powierzchni wzdłuż linii pomiarowej
 Fig. 9. Horizontal surface deformations along the observation line

W stropie bezpośrednim pokładu 510 występują łupki piaszczyste i pokład 509 w odległości pionowej około 5 metrów. Ponadto, górotwór nad karbonem stanowi nadkład zbudowany z warstw czwartorzędowych i triasu. Warstwy czwartorzędowe wykształcone są z glin, piasków, żwirów, oraz łłów o łącznej grubości do 20 m. Warstwy triasu zbudowane są z dolomitów kruszczoonych. Sumaryczna grubość nadkładu wynosi średnio 140 m.

Pomiary deformacji obejmowały jedną linię (punkty 201-209 oraz 220-232), rys. 7. Wyniki pomiarów obniżen i odształceń poziomych wzdłuż linii przedstawiono odpowiednio na rysunkach 8 i 9. Największe obniżenia wynoszą 187 mm, a odształcenia poziome od - 1,1 do +0,8 mm/m.

Wyznaczone parametry teorii Knothe-Budryka wynoszą: współczynnik eksploatacyjny $a=0,12$ i parametr górotworu $tg\beta=1,9$, przy uwzględnieniu współczynnika odchylenia wpływów z uwagi na duże nachylenie pokładów równym $k=0,4$.

2.4. Analiza porównawcza polskich doświadczeń z eksploatacji częściowej w aspekcie deformacji powierzchni

Porównanie warunków zalegania pokładów, stopnia wyeksploatowania złoża oraz wyznaczonych parametrów teorii dla analizowanych przypadków prowadzonej eksploatacji systemem chodnikowym przez ZG Siltech i ZG Eko-Plus przedstawiono w tabeli 3.

Wyznaczone wartości współczynnika eksploatacyjnego różnią się od wcześniej oczekiwanych. Dla eksploatacji częściowej (pasami z zawalem stropu, z pozostawieniem filarów między nimi) miał być mniejszy lub równy od 0,15, a dla eksploatacji podsadzka hydrauliczną nawet mniejszy od 0,05 (tabela VI (Knothe 1984)). Wyznaczone wartości współczynnika eksploatacyjnego dla eksploatacji chodnikowej są większe i wynoszą od 0,12 do 0,21, a w nawet 0,4 (pole Rokitnica ZG Siltech).

Tabela 3. Porównanie wyników badań z eksploatacji częściowej w ZG Siltech i ZG Eko-Plus w aspekcie deformacji powierzchni
 Table 3. Comparison of research results connected with partial extraction from two investigated areas (Siltech and Eko-Plus collieries) with respect to surface subsidence

Zakład Górniczy/ pole	Eksploatowane pokłady węgla	Głębokość eksploatacji, H, m	Nachylenie pokładów, α , stopnie	Współczynnik wykorzystania złoża, %	Współczynnik eksploatacyjny a		Parametr górotworu, $tg\beta$
					Szerokość filarów między chodnikami, m		
					4,0	12,0	
Siltech/ Rokitnica	504, 507, 509 i 510	260-380	< 5	58	0,4		1,0
Siltech/ Biskupice	507, 509 i 510	260	< 2	29-33	-	0,21	1,0
Eko-Plus	510	410-620	10-301	59	0,12	-	1,9

Wyznaczona wartość współczynnika dewiacji z uwagi na nachylenie warstw karbońskich $k=0,4$

- Mogą być, co najmniej trzy przyczyny tych różnic:
- reaktywacja starych zrobów - jako skutek ujawniania się dodatkowych deformacji po zakończonej eksploatacji poza filarowej i reaktywacji wyrobisk wewnątrz filarów ochronnych. Prowadzone współcześnie eksploatacje są w „obranych” filarach ochronnych, w których znajduje się sieć wyrobisk.
 - technologia eksploatacji i jakość podsadzki - obecnie podsadzka powstaje z odpadów pogórnich (kamienia) i z elektrowni (pyły dymnicowe). W latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia stosowano podsadzkę wykonaną w 100% z piasku.
 - nachylenie pokładów - w przypadku ZG „Eko-Plus”, gdzie nachylenie wynosi do 30°, wartość współczynnika eksploatacyjnego jest mniejsza o 63% niż dla ZG Siltech, gdzie nachylenie jest małe (do 5°).

Inne i małe wartości parametru górotworu $tg\beta$ dla eksploatacji ZG Siltech ($tg\beta = 0,9-1,3$) względem ZG Eko-Plus ($tg\beta = 1,9$), wynikają przypuszczalnie z budowy geologicznej warstw nadległych i sposobu likwidacji zrobów poeksploatacyjnych. Nad eksploatowanym pokładem 509 w ZG Siltech występuje piaskowiec, a w ZG Eko-Plus nad pokładem 510 występują łupki piaszczyste i pokład 509, a wyżej nad pokładem 507 łupki ilaste. Ponadto, niska wartość parametru górotworu $tg\beta$ dla eksploatacji ZG Siltech wynika także z większej reaktywacji zrobów w sąsiedztwie eksploatowanych parcel. Na zewnątrz filara ochronnego w ZG Siltech dominowała eksploatacja z podsadzką suchą, a w rejonie ZG Eko-Plus eksploatacja z zawalem stropu.

3. Eksploatacja częściowa w Stanach Zjednoczonych

W amerykańskim górnictwie węgla kamiennego eksploatacja częściowa realizowana jest poprzez stosowanie systemu komorowo-filarowego. System komorowo-filarowy polega na drażeniu chodników eksploatacyjnych w kierunkach prostopadłych do siebie, tworząc

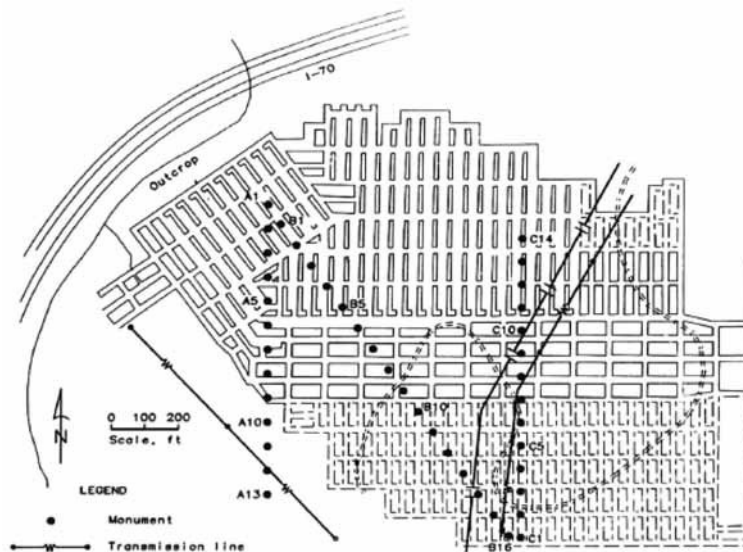
w ten sposób siatkę filarów ochronnych. Wyrobiska prowadzone są w przekroju prostokątnym kombajnem typu „continuous miners”, a do ich zabezpieczenia stosowana jest samodzielna obudowa kotwowa. Obudowa kotwowa jest obudową aktywną, której zadaniem jest stworzenie samonośnej belki niedopuszczającej do obniżenia stropu wyrobiska. Jest to istotna różnica w porównaniu z obudową łukową stosowaną w górnictwie polskim, która działa w sposób pasywny i dopuszcza w sposób naturalny obniżenia stropu.

System komorowo-filarowy jest powszechnie stosowany w górnictwie amerykańskim, co pozwala uzyskać 50% produkcji węgla kamiennego z kopalń głębinowych. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że w przeciwieństwie do górnictwa polskiego, prowadzona jest tu eksploatacja jednopokładowa, która sprzyja stosowaniu tego typu systemu.

Przytoczony w niniejszym artykule przykład eksploatacji komorowo-filarowej dotyczy badań powierzchni terenu nad płytko prowadzoną podziemną eksploatacją górnictwem w zachodniej części Stanów Zjednoczonych, w stanie Colorado w kopalni Roadside (Magers 1993). Eksploatowano pokład o grubości od 1,2 do 3,0 m, przeciętnie 1,8 m. Głębokość eksploatacji wahała się od 15 m do 210 m. Warstwy nad pokładem zbudowane były z łupków i piaskowców, a przy powierzchni zalega cienka warstwa bazaltu o budowie bryłowej przechodząca na powierzchni do gruzu i piasku. Upad warstw wynosi od 2 do 5°. Powierzchnia nie jest zabudowana, jednak wymagała ochrony z uwagi na znajdujące się na niej rzekę, drogi, wodociąg i linię energetyczną.

Wyrobiska eksploatacyjne stanowiły chodniki o szerokości 6 m i wysokości odpowiadającej grubości pokładu, a do ich zabezpieczenia stosowano obudowę kotwową. Filary pozostawione między chodnikami mają różne szerokości od 6 do 30 m. Współczynnik wykorzystania złoża uzależniony jest od rozmiarów filarów i wahał się od 44 do 69%. Przedmiotem publikacji (Magers 1993) były trzy rejon badań, w części kopalni:

- północno-zachodniej (rys.10),
- południowo-zachodniej (rys. 11),
- zachodniej (rys. 12).



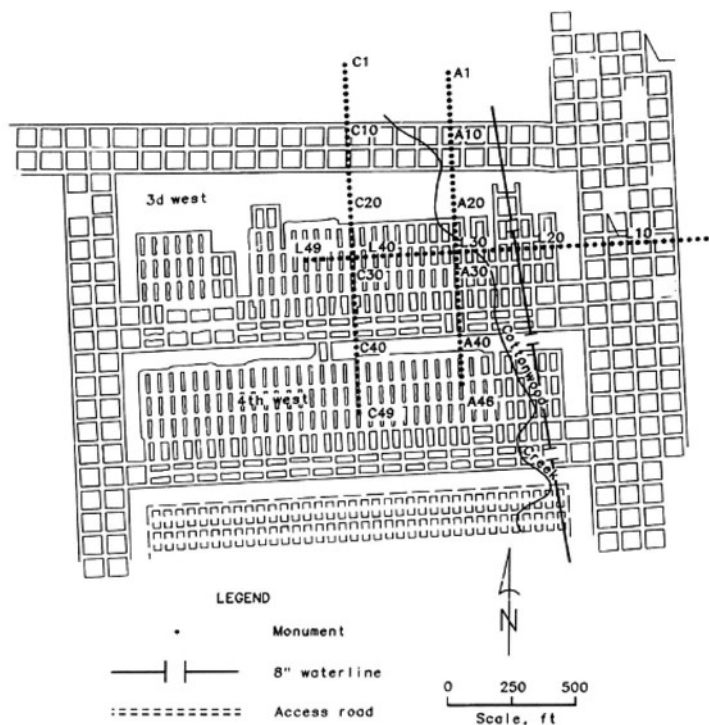
Rys. 10. Eksploatacja w polu północno-zachodnim, lokalizacja linii pomiarowych (A1-A13, B1-B16 i C1-C14) oraz linii energetycznej, wodociągu i drogi (Magers 1993)

Fig. 10. Northwest section plan of workings, location of observation lines (A1-A13, B1-B16 and C1-C14), transmission lines, waterline and access road (Magers 1993)



Rys. 11. Eksploatacja w polu południowo-zachodnim i lokalizacja linii pomiarowych 1-F14 i G-1-G7 (Magers 1993)

Fig. 11. Southwest section plan of workings, location of observation lines 1-F14 and G-1-G7 (Magers 1993)



Rys. 12. Eksploatacja w polu zachodnim, lokalizacja linii pomiarowych: A1-A46, C1-C49 i L1-L49, rzeki i wodociągu (Magers 1993)

Fig. 12. West section plan of workings, location of observation lines A1-A46, C1-C49 and L1-L49, creek and waterline (Magers 1993)

Zbiornicze i porównawcze zestawienie podstawowych danych geologicznych i górniczych, maksymalnych obniżen powierzchni i wyznaczonych współczynników eksploatacyjnych (a), określonych jako iloraz maksymalnego obniżenia do grubości wybranego pokładu, przedstawiono w tabeli 4.

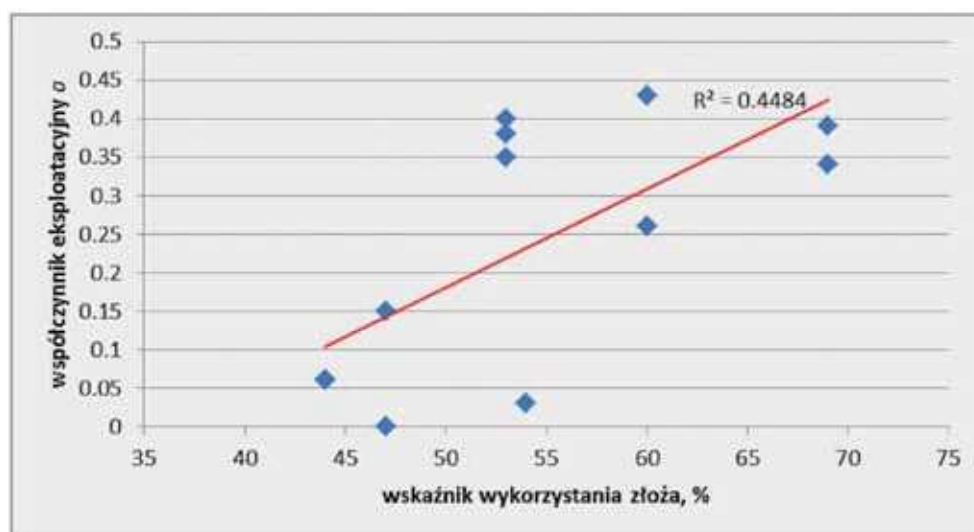
Z tabeli 4 wynika, że wartość współczynnika eksploatacyjnego w głównej mierze zależy od stopnia wykorzystania złoża

i waha się w przedziale od 0 do 0,43, co odpowiada wykorzystaniu złoża od 44% do 69%. Na wartość współczynnika może mieć wpływ głębokość eksploatacji, im płycej współczynnik eksploatacyjny jest większy. W rejonach północno-zachodnim i południowo-zachodnim, gdzie średnia głębokość eksploatacji wynosi około 40 m, wartości parametru są większe niż w rejonie zachodnim, gdzie średnia głębokość eksploatacji wynosi

Tabela 4. Podstawowe dane geologiczne i górnicze, maksymalne obniżenia powierzchni i wyznaczone współczynniki eksploatacyjne

Table 4. Basic geological and mining conditions, extreme values of surface subsidence and determined values of subsidence factors

Rejon eksploatacji	Dane geologiczne i górnicze				Max. obniżenie i współczynnik eksploatacyjny	
	Głębokość, m	Grubość, m	Wymiary filarów i (pól eksploatacyjnych), m	Współczynnik wykorzystania złoża, %	wmax, m	a
Północno-zachodni Linia A Linia B Linia B Linia B Linia C Linia C Linia C	30-60	2,1				
			6x24 (12x30)	60	0,54	0,26
			9x21 (15x27)	53	0,66	0,35
			12x24 (18x30)	47	0	0
			9x21 (15x27)	53	0,75	0,4
			6x24 (12x30)	60	0,9	0,43
			9x21 (15x27)	53	0,8	0,38
12x24 (18x30)	47	0,3	0,15			
Południowo-zachodni Linia F Linia G	15-60	1,9				
			12x30 (18x36)	44	0,12	0,06
			12x30 (18x36)	44	0,12	0,06
Zachodni Linia A Linia C Linia L	105-210	2,1				
			8x24 (14x30)	54	0,06	0,03
			4x20 (10x26)	69	0,72	0,34
			4x20 (10x26)	69	0,81	0,39



Rys. 13. Zależność wartości współczynnika eksploatacyjnego od stopnia wykorzystania złoża kopalni Roadside

Fig. 13. Relationship between subsidence factor and coal recovery ratio for the Roadside colliery

około 150 m. Na rys. 13 przedstawiono wyznaczoną liniową zależność wartości współczynnika eksploatacyjnego od stopnia wykorzystania złoża dla kopalni Roadside, która jednak cechuje się małą wartością współczynnika determinacji $R^2=0,4484$.

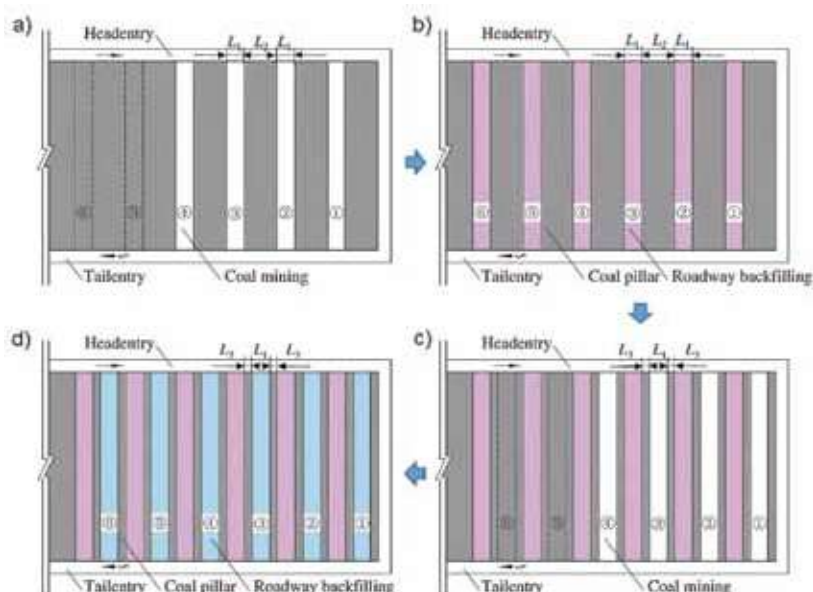
Wyznaczony kąt zasięgu wpływów (liczony od pionu) dla północno-zachodniego rejonu eksploatacji wynosi od 11° do 14° , a dla rejonu zachodniego od 8° do 11° . Według polskiej nomenklatury kąty zasięgu wpływów liczone są od poziomu, czyli wynoszą odpowiednio od 76° do 79° i od 79° do 82° .

4. Badania i zastosowanie eksploatacji częściowej w Chinach

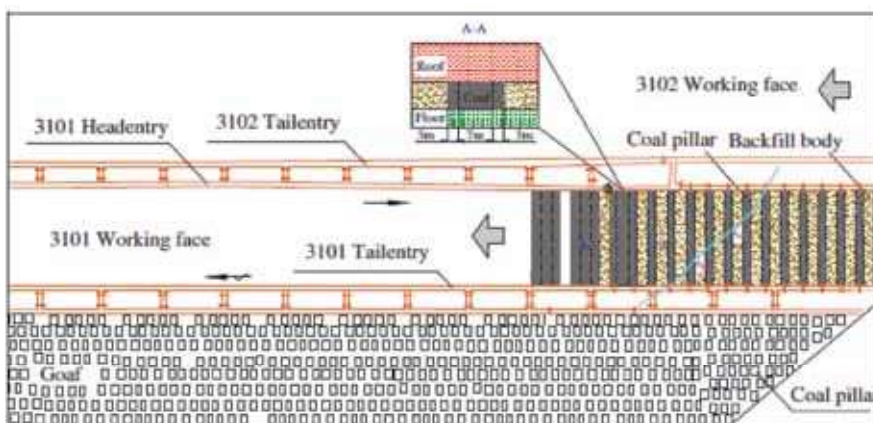
Kolejnym przykładem eksploatacji częściowej jest system chodnikowy stosowany w warunkach kopalni Changxing w zachodnich Chinach. W publikacji (Zhang i in. 2016) przed-

stawiono wyniki badań i wdrożenia technologii eksploatacji częściowej chodnikami eksploatacyjnymi z podsadzką (RCBM - roadway backfill coal mining). Chodniki eksploatacyjne o szerokości $L_1=7,0$ m, drażone są równoległe do siebie w odstępach $L_2=11,0$ m (rys. 14a). W drugim etapie chodniki te są wypełniane podsadzką (rys. 14b). Następnie, w trzecim etapie w utworzonych filarach ochronnych draży się chodniki o szerokości również $L_1=7,0$ m z pozostawieniem filarów o wymiarach $L_3=3,0$ m (rys. 14c). W ostatnim, czwartym etapie chodniki eksploatacyjne również, jak w etapie drugim, zostają likwidowane poprzez podsadzanie (rys. 14d).

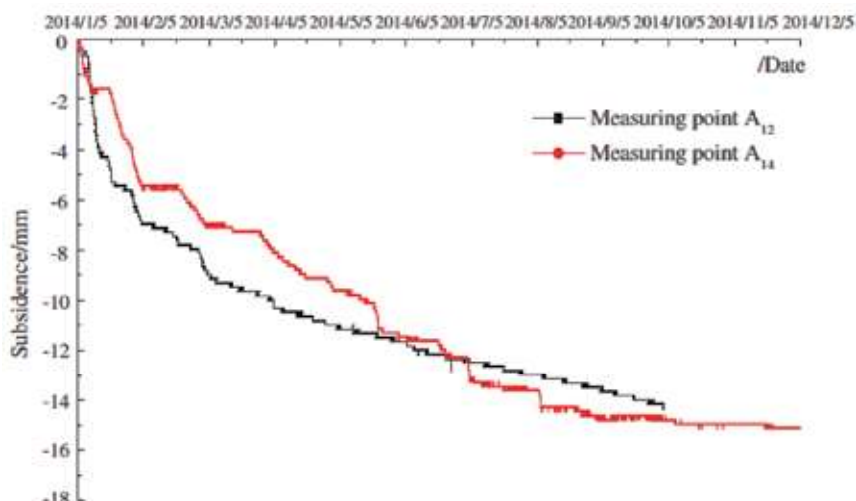
Eksploatację pokładu o grubości 5,35 m prowadzono na głębokości 130 m, a do zabezpieczenia wyrobisk stosowano obudowę kotwową. Współczynnik wykorzystania złoża w tym przypadku wynosił 70% (rys. 15). Podsadzka wykonana została z piasku, lessu i materiałów wiążących w proporcji odpowiednio: 1: 0,3: 0,16.



Rys. 14. Schemat eksploatacji metodą RCBM (Zhang i in. 2016)
 Fig. 14. Scheme of RCBM method (Zhang et al. 2016)



Rys. 15. Schemat eksploatacji filarowej w kopalni Changxing (Zhang i in. 2016)
 Fig. 15. Scheme of the roadway backfill coal mining method (RCBM) in Changxing colliery (Zhang et al. 2016)



Rys. 16. Obniżenia punktów A12 i A14 na powierzchni (Zhang i in. 2016)
 Fig. 16. Subsidence of observation points A12 and A14 on the surface (Zhang et al. 2016)

Observacje deformacji powierzchni są udokumentowane na rys. 16, z którego wynika, że obniżenia powierzchni wynoszą 15 mm. Pomierzone obniżenia odpowiadają panelowi o szerokości 36 m, z czego wynika, że na powierzchni nie wystąpiły maksymalne obniżenia. Oszacowany współczynnik eksploatacyjny może wynosić 0,006 (powiększony dwukrotnie, z uwagi na rozmiary pola eksploatacyjnego)! Jest to wynik bardzo dobry z punktu ochrony powierzchni.

5. Wnioski

Z przedstawionych wyników pomiarów deformacji powierzchni nad eksploatacją chodnikami, stosowaną w Polsce i w Chinach oraz komorowo-filarową w USA, wynikają następujące wnioski:

1. Eksploatacja częściowa w górnictwie amerykańskim i chińskim prowadzona jest w warunkach geologiczno-górnictwowych odmiennych niż w Polsce. Analizowane przykłady eksploatacji górniczej w USA i Chinach były prowadzone w górotworze nienaruszonym eksploatacją górniczą. Natomiast w warunkach polskich górotwór jest znacznie naruszony wcześniejszą eksploatacją górniczą. Głębokości eksploatacji w USA i Chinach są mniejsze niż w Polsce, odpowiednio od 15 do 210 m oraz od 300 do 620 m. Ponadto różnice występują w sposobie zabezpieczania wyrobisk. Chodniki eksploatacyjne w Stanach Zjednoczonych i Chinach prowadzi się w obudowie kotwowej, natomiast w Polsce powszechnie stosowana jest obudowa łukowo-podatna.
2. Wyznaczone wartości współczynnika eksploatacyjnego w ZG Siltech wahają się w zależności od stopnia wykorzystania złoża i wynoszą od 0,21 (przy wykorzystaniu złoża w 30-33%) do 0,4 (przy wykorzystaniu złoża w 58%).
3. Wyznaczone wartości współczynnika eksploatacyjnego w ZG EKO-PLUS wynosi 0,12, a jej względnie mała wartość (w porównaniu z ZG Siltech) wynika z nachylenia

pokładu, które jest znacznie większe niż w ZG Siltech, co zapewnia skuteczne podszadanie.

4. Do wymiarowania filarów między chodnikami eksploatacyjnymi niezbędne jest prowadzenie pomiarów deformacji, które służą do kalibrowania modelu obliczeniowego i wyznaczania parametrów teorii.

Literatura

- GRUCHLIK P., KOWALSKI A., RAJWA S., WALENTEK A. 2014 - Modelling of rock mass and surface deformation caused by roadway mining in light of geodetic observations. 15. Geokinematyczny Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie an der Technischen Universität Bergakademie. Freiberg., s. 107-116.
- KNOTHE S. 1958 - Ochrona powierzchni przy częściowej eksploatacji pokładu pasami. „Archiwum Górnictwa”, t.3. z.1
- KNOTHE S. 1984 - Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wydawnictwo Śląsk. Katowice.
- KOWALSKI A., WALENTEK A. 2013 - Wpływ eksploatacji częściowej, w tym chodnikami, na deformacje powierzchni. Sbornik referatu Mezinárodní konference „Geodézie a Důlní měřictví 2013. XX. konference SDMG. Milín, Czechy. 2-4.10.2013 r., s. 105-116.
- KOWALSKI A. 2015 - Deformacje powierzchni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Monografia. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice, s. 283.
- MAGERS J.A. 1993 - Surface Subsidence Over a Room and Pillar Mine in the Western United States. United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Mines and Mineral Resources. Paper 3 (http://digitalcommons.usu.edu/govdocs_mines/3)
- ZHANG J., SUN Q., ZHOU N., HAIQIANG J., GERMAIN D., ABRO S. 2016 - Research and application of roadway backfill coal mining technology in western coal mining area. Arabian Journal of Geosciences, Springer.

Artykuł wpłynął do redakcji – luty 2017
Artykuł akceptowano do druku 20.08.2017