

Ryszard MIELIMAŁA
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW KOLEJNOŚCI EKSPLOATACJI NA OBSERWOWANE KRZYWIZNY PROFILU NIECKI OBNIŻENIOWEJ

Streszczenie. W artykule dokonano analizy krzywizn pomierzonych na liniach obserwacyjnych założonych w KWK „Chwałowice” i w KWK „Budryk” poprzecznie do wybiegu czterech kolejno eksploatowanych ścian. Wykazano istotny wpływ kolejności eksploatacji na wartość obserwowanych krzywizn.

INFLUENCE OF ORDER OF MINING EXPLOITATION ON OBSERVED CURVATURES OF SUBSIDENCE TROUGH

Summary. In this article an analysis of measured curvatures on observation lines that run crosswise to the face advance of four consecutively exploited longwalls of “Chwałowice” and “Budryk” coalmines has been performed. Considerable influence of the order of exploitation on values of observed curvatures has been stated.

1. Wprowadzenie

Analiza licznych pomiarów geodezyjnych oraz wyników badań modelowych wskazuje, że deformacje terenu górniczego wskutek podziemnej eksploatacji ścianowej znacznie różnią się od deformacji opisywanych liniowymi (w sensie superpozycji wpływów) modelami matematycznymi. Jak pokazano w pracach [2, 3, 4, 5], maksymalne nachylenia i odkształcenia obserwowane na kolejnych 4 zboczach tworzącej się niecki obniżeniowej znacznie różnią się między sobą, a dna niecek pełnych są bardzo nierówne. Istotną przyczyną tych odstępstw od modelu teoretycznego jest występujący w praktyce, a nie ujmowany przez teorie geometryczno-całkowe wpływ kolejności i kierunku eksploatacji na rozkład obserwowanych na liniach pomiarowych wskaźników deformacji. Różnice w warunkach geomechanicznych, jakie występują przy tworzeniu się poszczególnych zboczy niecki, sprawiają, że wartości

maksymalnych nachyleń i odkształceń poziomych na zboczach kształtujących się nad polem pierwszej eksploatowanej ściany oraz w rejonie rozruchu ściany są istotnie, nawet o kilkadziesiąt procent, większe niż na zboczach przeciwnych. Wyrazem tych różnic jest statystyczny rozrzut parametrów teorii prognozowania wyznaczanych na podstawie pomiarów geodezyjnych.

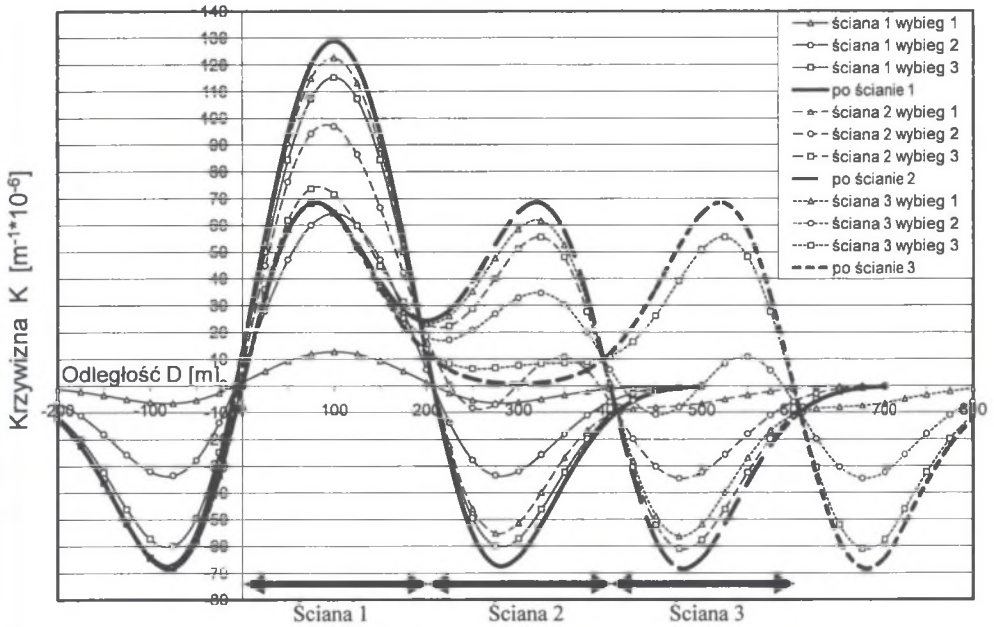
Celem niniejszego artykułu jest pokazanie, że kolejność eksploatacji ma także wpływ na rozkład krzywizn wzdłuż poprzecznego do kierunku eksploatacji profilu niecki obniżeniowej. Posłużyła do tego analiza wyników pomiarów geodezyjnych z KWK „Chwałowice” i KWK „Budryk”, przeprowadzonych na liniach pomiarowych założonych poprzecznie do wybiegu czterech ścian po ich wybraniu.

2. Teoretyczny rozkład krzywizn

W celu pokazania teoretycznego rozkładu krzywizn wzdłuż poprzecznego do kierunku eksploatacji profilu niecki osiadania wykonano ich obliczenia dla teoretycznego przypadku eksploatacji trzech ścian na różnych etapach rozwoju eksploatacji. Obliczenia te przeprowadzono programami serii EDBJ, w których zaimplementowano wzory teorii Budryka - Knothego i rozszerzenia tej teorii zaproponowane przez J. Białka [1]. Wyniki tych obliczeń przedstawiono na rysunku 1.

Na podstawie przebiegu krzywizn teoretycznych przedstawionych rysunku 1 można stwierdzić, że:

- maksymalna krzywizna dodatnia po wybraniu pierwszej eksploatowanej ściany jest prawie dwa razy większa niż ekstremalne krzywizny ujemne na zewnątrz tego pola,
- po wybraniu drugiej ściany ekstremalne krzywizny zarówno dodatnie, jak i ujemne na obydwu zboczach niecki przyjmują takie same wartości równe ekstremalnym krzywiznom ujemnym po wybraniu pierwszej ściany,
- wybranie trzeciej ściany nie zmieniło wielkości ekstremalnych krzywizn na obydwu skrzydłach niecki, jednakże spowodowało, że nad polem drugiej ściany uformowało się płaskie dno niecki, w którym krzywizny są równe 0.



Rys. 1. Teoretyczny przebieg krzywizn wzdłuż linii prostopadłej do kierunku eksploatacji trzech ścian

Fig. 1. Theoretical profile of curvatures along line perpendicular to direction of exploitation of three longwalls

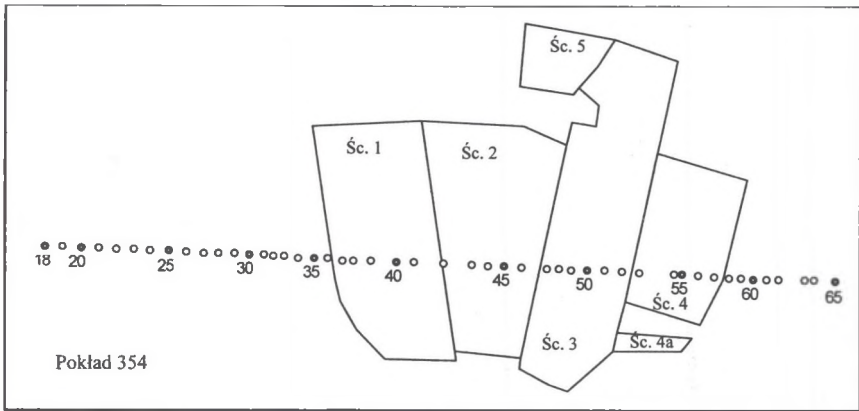
3. Krótka charakterystyka materiału obserwacyjnego

3.1. Linia pomiarowa w KWK „Chwałowice”

KWK „Chwałowice” prowadziła w latach 1968 - 71 eksploatację pokładu 354 systemem ścianowym z zawalem stropu. Pokład w analizowanym rejonie miał miąższość ok. 1,7 m i zalegał praktycznie poziomo na głębokości 270-320 m. Górotwór tworzą warstwy piasków, żwirów, glin czwartorzędowych, iłów i piasków miocenijskich o łącznej miąższości 220 m oraz warstwy brzeskie wykształcone w postaci facji łupkowo-piaskowcowej ze zdecydowaną przewagą łupków.

Nad rejonem eksploatacji założono linię pomiarową 1A usytuowaną prostopadłe do wybiegu ścian 1, 2, 3 i 4 w pokładzie 354 (rys. 2). Linia ta składała się z 64 punktów zastabilizowanych w odległościach wynoszących od 20 m do 30 m.

Do analizy deformacji zarejestrowanych na tej linii pomiarowej wybrano wyniki geodezyjnych obserwacji z cykli 6, 10, 14 i 18 wykonanych po zakończeniu eksploatacji poszczególnych ścian.

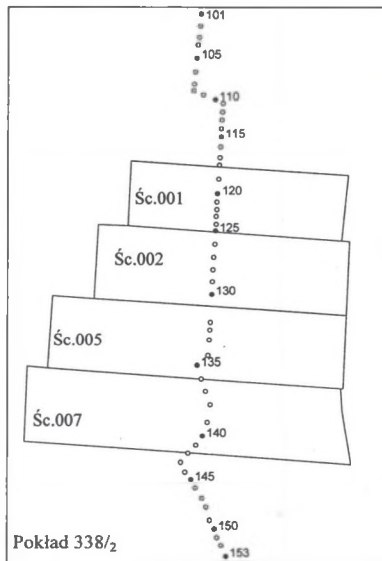


Rys. 2. Położenie punktów linii pomiarowej 1A KWK „Chwałowice” w stosunku do krawędzi eksploatacji ścian 1, 2, 3, 4 i 5 w pokładzie 354

Fig. 2. Position of points on observation line 1A of “Chwałowice” coalmine in relation to edge of exploitation of longwalls 1, 2, 3, 4 and 5 in seam 354

3.2. Linia pomiarowa w KWK „Budryk”

Linia 1 KWK „Budryk” została założona w styczniu 1994 r., tj. przed rozpoczęciem eksploatacji górniczej w tej kopalni. Na linii tej były prowadzone systematyczne obserwacje wysokościowe (metodą niwelacji precyzyjnej) i liniowe (precyzyjnym dalmierzem elektronicznym), których celem była rejestracja deformacji powodowanych przez eksploatację ścian 001, 002, 005 i 007 w pokładzie 338/2 (rys. 3).



Rys. 3. Położenie punktów linii pomiarowej 1 KWK „Budryk” w stosunku do krawędzi eksploatacji ścian 001, 002, 005 i 007 w pokładzie 338/2

Fig. 3. Position of points on observation line 1 of “Budryk” coalmine in relation to edge of exploitation of longwalls 001, 002, 005 and 007 in seam 338/2

Eksplatacja ścian 001, 002, 005 i 007 w partii A pokładu 338/2 była prowadzona systemem zawałowym podłużnym, w kolejności zgodnej z numeracją, na głębokości od 580 m do 700 m. Długość ścian wynosiła ok. 250 m, zaś ich wybiegi zwiększały się od 750 m dla ściany 001 do 1080 m w przypadku ściany 007. Nachylenie pokładu w tym rejonie waha się od 6° do 8° , a jego miąższość, równa w zasadzie wysokości tych ścian, wynosi 2,0 m.

Linia 1 biegnie z północy na południe, zgodnie z południowym kierunkiem upadu pokładu przez środek pola wybrania. Składa się z 53 punktów zastabilizowanych generalnie w odległościach wynoszących od ok. 24 m do ok. 50 m.

Do analizy deformacji zarejestrowanych na tej linii pomiarowej wybrano wyniki geodezyjnych obserwacji z cykli 3, 7, 14 i 17 wykonanych po zakończeniu eksploatacji ścian 001, 002, 005 i 007 w pokładzie 338/2.

4. Analiza krzywizn pomierzonych po kolejnych etapach eksploatacji

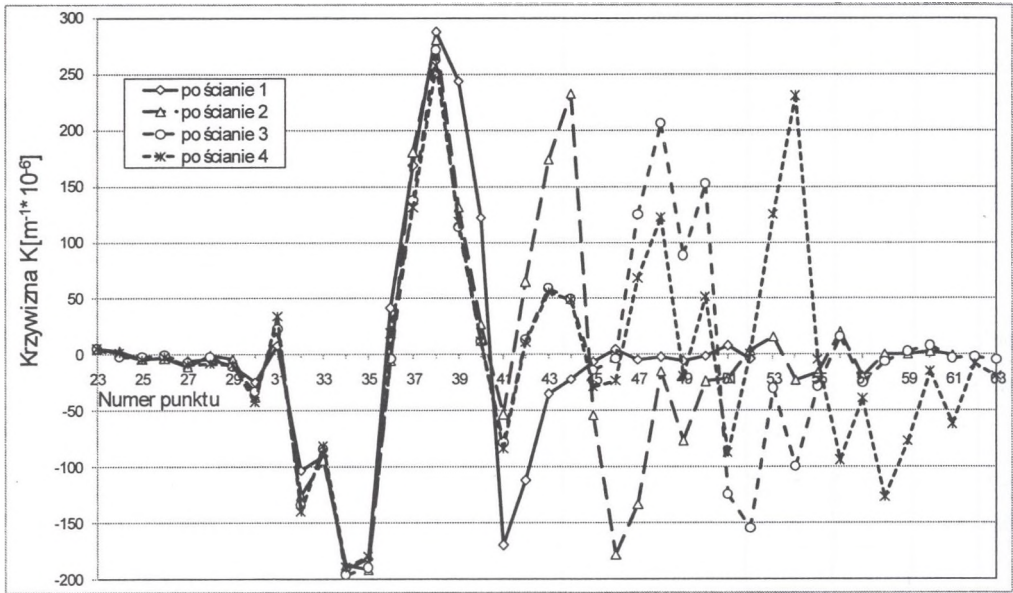
Wartości krzywizn dla ostatecznie wykształconej niecki obniżeniowej w poszczególnych punktach linii pomiarowej zostały obliczone na podstawie pomierzonych obniżeń i pomierzonych długości jej odcinków. Znając obniżenia w_i w punktach P_i oraz odległości między tymi punktami $l_{i,i+1}$, wyznacza się najpierw nachylenia poszczególnych odcinków $T_{i,i+1}$ wzorem:

$$T_{i,i+1} = \frac{w_{i+1} - w_i}{l_{i,i+1}} \quad (1)$$

W przypadku gdy dany odcinek jest skrócony o kąt α względem prostopadłej do krawędzi eksploatacji, obliczone wzorem (1) nachylenie należy powiększyć dzieląc jego wartość przez $\cos \alpha$. Krzywiznę $K_{i,i+2}$ w punkcie P_{i+1} oblicza się następnie wyrażeniem:

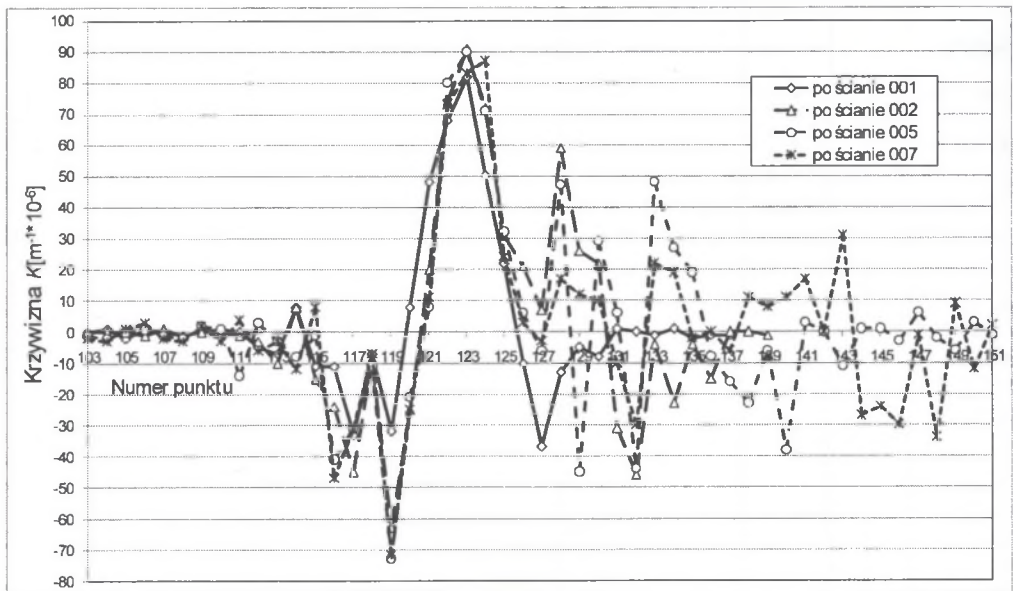
$$K_{i,i+2} = 2 * \frac{T_{i+1,i+2} - T_{i,i+1}}{l_{i,i+1} + l_{i+1,i+2}} \quad (2)$$

Przebieg końcowych krzywizn pomierzonych wzdłuż linii pomiarowych 1A KWK „Chwałowice” oraz 1 KWK „Budryk” po poszczególnych etapach eksploatacji pokazano na rysunkach 4 oraz 5.



Rys. 4. Krzywizny pomierzone na linii pomiarowej 1 KWK „Chwałowice” po zakończeniu eksploatacji ścian 1, 2, 3 i 4 w pokładzie 354

Fig. 4. Curvatures measured on observation line 1 of “Chwałowice” coalmine after the end of exploitation of longwalls 1, 2, 3 and 4 in seam 354



Rys. 5. Krzywizny pomierzone na linii pomiarowej 1 KWK „Budryk” po zakończeniu eksploatacji ścian 001, 002, 005 i 007 w pokładzie 338/2

Fig. 5. Curvatures measured on observation line 1 of “Budryk” coalmine after the end of exploitation of longwalls 001, 002, 005 i 007 in seam 338/2

Analiza przedstawionych wykresów krzywizn pomierzonych na liniach 1A KWK „Chwałowice” oraz 1 KWK „Budryk” po wybraniu kolejno czterech ścian upoważnia do następujących stwierdzeń:

1. **Zgodnie z teorią wpływów ekstremalne krzywizny powstałe w niecce niepełnej powinny ulec znacznemu, nawet dwukrotnemu, zmniejszeniu po ukształtowaniu się niecki pełnej. W przedstawionych przykładach ekstremalne krzywizny pomierzone, które zaistniały w niepełnej niecce utworzonej nad polem pierwszej eksploatowanej ściany, w zasadzie nie zmniejszyły się w wyniku dalszej eksploatacji. Następują tu zatem trwałe deformacje niepodlegające pełnej kompensacji.**
2. W nieckach osiadania, jakie ukształtowały się na powierzchni po wybraniu drugiej i kolejnych ścian, wartości ekstremalne końcowych krzywizn pomierzonych na skrzydle statycznym są większe niż wartości tych krzywizn na skrzydle zmieniającym swe położenie wraz z rozwojem eksploatacji. Różnica między odpowiadającymi sobie wartościami tych krzywizn wzrasta wraz z dochodzeniem do niecki pełnej, w której to przyjmuje ona wartość maksymalną. W KWK „Chwałowice” pomierzone wartości ekstremalnych krzywizn w takiej niecce (tj. po wybraniu trzech ścian) na skrzydle zmieniającym swe położenie wynoszą ok. 80% ich pomierzonych wartości na skrzydle przeciwnym, a w KWK „Budryk” (po wybraniu czterech ścian) – 46% w zakresie maksymalnej krzywizny dodatniej i 51% w zakresie ekstremalnej krzywizny ujemnej. Większa wartość ekstremalnej krzywizny dodatniej zaobserwowana na linii 1 KWK „Chwałowice” w rejonie skrzydle zmieniającego swe położenie po wybraniu czterech ścian w stosunku do wcześniejszego etapu eksploatacji wynika z przechodzenia linii pomiarowej przez rejon rozruchu ściany czwartej.
3. Zaobserwowane na linii 1 KWK „Budryk” większe wartości ekstremalnych krzywizn końcowych na skrzydle statycznym niecki (zobcz. A) w stosunku do ich wartości na skrzydle zmieniającym swe położenie wraz z eksploatacją kolejnych ścian (zobcz. B) mogą wynikać z systematycznego wzrostu głębokości krawędzi eksploatacji wyznaczającej południową granicę zrobów. Dlatego jeśli chcemy, opierając się na porównaniu wartości ekstremalnych krzywizn pochodzących z różnych fragmentów niecki obniżeniowej, śledzić wpływ takich czynników, jak np. kolejność eksploatacji, to konieczne jest wyeliminowanie oczywistego wpływu głębokości na ich wartość. Redukcję tego wpływu przeprowadzono przyjmując założenie, że ekstremalna krzywizna maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu głębokości krawędzi eksploatacji.

Zgodnie z tym założeniem ekstremalne krzywizny zredukowane można obliczyć za pomocą wzoru:

$$K_{ekstr\ B_i}^H = K_{ekstr\ B_i} * \left(\frac{H_A}{H_{B_i}} \right)^2 \quad (3)$$

Po uwzględnieniu nachylenia pokładu ekstremalne krzywizny pomierzone w niecce pełnej powstałej w warunkach KWK „Budryk” na skrzydle zmieniającym swe położenie stanowią 63% i 70% odpowiednio maksymalnej krzywizny dodatniej i ekstremalnej krzywizny ujemnej pomierzonej na skrzydle przeciwnym.

4. Analiza ekstremalnych krzywizn końcowych pomierzonych na linii 1A KWK „Chwałowice” i na linii 1 KWK „Budryk” pozwala na stwierdzenie, że kolejność eksploatacji jest jednym z istotnych czynników wpływających na ich rozkład. Wpływ ten wynika z różnic w warunkach geomechanicznych, jakie towarzyszą kształtowaniu się przeciwnych zboczy niecki, tj. zbocza statycznego nad pierwszą eksploatowaną ścianą i zbocza zmieniającego swe położenie wraz z eksploatacją kolejnych ścian. Jest on istotniejszy w warunkach KWK „Budryk”, gdzie eksploatacja odbywała się na większej głębokości.
5. Jak wykazują wykresy końcowych krzywizn zarejestrowanych w nieckach pełnych, w ich częściach dennych występują dość znaczne krzywizny o wartościach dochodzących do 28% w przypadku KWK „Chwałowice” i 35% w przypadku KWK „Budryk” ich maksymalnych wartości.
6. W przebiegach krzywizn pomierzonych po kolejnych etapach eksploatacji zauważalne jest zwiększanie się roli czynnika losowego w ich kształtowaniu się. Jest to szczególnie widoczne w przebiegu krzywizn zaobserwowanych na linii 1 KWK „Budryk”, gdzie eksploatacja prowadzona była na większej głębokości. W przypadku tej linii ekstremalne wartości krzywizn pomierzonych w niecce pełnej na skrzydle zmieniającym swe położenie są zbliżone do ich wartości z rejonu dna niecki.

5. Wnioski

Analiza krzywizn pomierzonych na liniach usytuowanych prostopadle do wybiegu czterech ścian w warunkach KWK „Chwałowice” i KWK „Budryk” pozwala na wysunięcie następujących wniosków:

1. Ekstremalne krzywizny powstałe na etapie niepełnej niecki obniżeniowej utrzymują swe duże wartości również na kolejnych etapach eksploatacji, gdy dochodzi do powstania niecki pełnej. Deformacje powstałe na etapie niecki niepełnej nie podlegają zatem takiej kompensacji, jak wynika to z teorii wpływów.
2. Brak pełnej kompensacji ekstremalnych krzywizn, jakie ukształtowały się nad polem pierwszej eksploatowanej ściany, sprawia, że ekstremalne krzywizny w rejonie skrzydła niecki zmieniającego swe położenie po kolejnych etapach eksploatacji są mniejsze niż w rejonie skrzydła statycznego. Różnice te zwiększają się wraz z eksploatacją kolejnych ścian do etapu niecki pełnej i są większe w przypadku głębszej eksploatacji.
3. W częściach dennych niecek pełnych obserwuje się dość znaczne krzywizny, wynikające z nierównomierności obniżen występujących w tych częściach niecek.

LITERATURA

1. Białek J.: Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
2. Białek J., Mielimąka R., Wesółowski M.: Ein linear, transversal-anisotropisches Gebirgsmodell zur Modellierung abbaubedingter Gebirgsbewegungen. Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie der TU Bergakademie Freiburg, Heft 1, 2002.
3. Białek J., Mielimąka R.: Influence of working direction shape of subsidence trough in view of geodesic observations and numerical modelling. Proceedings of XII International Congress of International Society for Mine Surveying. Fuxin – Beijing, China 2004.
4. Białek J., Mielimąka R.: Końcowe odkształcenia poziome terenu górniczego w świetle pomiarów geodezyjnych i obliczeń prognostycznych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, półrocznik „Geodezja”, Kraków 2006.
5. Mielimąka R.: Analysis of calculated and observed extreme horizontal strains in time. Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie der TU Bergakademie, Freiburg 2006.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Edward Popiołek