

Jan BIAŁEK, Ryszard MIELIMAŁA
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW KOLEJNOŚCI EKSPLOATACJI NA MAKSYMALNE NACHYLENIA I KRZYWIZNY NIECKI OBNIŻENIOWEJ NA PRZYKŁADZIE OBSERWACJI GEODEZYJNYCH PROWADZONYCH NA JEDNEJ Z KOPALŃ GOP

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę wyników obserwacji geodezyjnych obniżenia terenu górniczego wskutek eksploatacji kolejno czterech pól ścianowych. Eksploatacja ta była prowadzona współcześnie na jednej z kopalń GOP. Ustalono, że wartości maksymalnych nachyleń i maksymalnych krzywizn charakteryzujących nieckę obniżeniową są zależne od kolejności eksploatacji poszczególnych pól ścianowych. Rozpatrując linię pomiarową prostopadłą do wybiegu kolejnych ścian stwierdzono, że największe nachylenia i krzywizny występują w rejonie statycznej krawędzi utworzonej przez wybranie pierwszej ściany.

INFLUENCE OF THE SEQUENCE OF MINING ON MAXIMUM INCLINATIONS AND CURVATURES OF SUBSIDENCE TROUGH BASING ON GEODESIC OBSERVATIONS CARRIED OUT IN ONE OF COAL MINES OF THE UPPER SILESIA COAL BASIN

Summary. The paper presents the analysis of the results of geodesic observations involving the subsidence of mining ground effected by the mining of four longwall fields realized in sequence. The mining process was carried out in present-day times in one of the coal mines of the Upper Silesia Coal Basin. It was ascertained that the values of maximum inclinations and curvatures characterizing the subsidence trough are dependent on the mining sequence of particular longwall fields. Analyzing the measurement line perpendicular to the advance path of the successive longwalls, it was found that the highest inclination and curvatures occur in the area of static edge formed by the excavation of the first longwall.

1. Wstęp

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. Wbrew wszystkim teoriom wpływów obserwuje się, że dna pełnych niecek obniżeniowych są bardzo nierówne. Bardziej pogłębione analizy pokazują, że maksymalne nachylenia, krzywizny i odkształcenia obserwowane na kolejnych 4 zboczach tworzącej się niecki obniżeniowej znacznie różnią się między sobą. Wyrazem tych różnic jest obserwowany duży rozrzut statystyczny parametrów teorii wpływów wyznaczanych na podstawie pomiarów geodezyjnych.

Celem niniejszego artykułu jest pokazanie wpływu kolejności eksploatacji na wielkość maksymalnych nachyleń i krzywizn terenu górniczego na przykładzie obserwacji geodezyjnych przedstawiających narastające obniżenia po kolejnej eksploatacji 4 pól ścianowych.

2. Charakterystyka obserwacji geodezyjnych z rejonu KWK X

Rozpatrując zagadnienie rozwoju eksploatacji w czasie można wyróżnić dwa przypadki:

Przypadek I (rys.1,2) - formowania się niecki osiadania wskutek eksploatacji kolejnych ścian. Do obserwacji tego przypadku konieczna jest linia pomiarowa usytuowana prostopadle do wybiegu ścian.

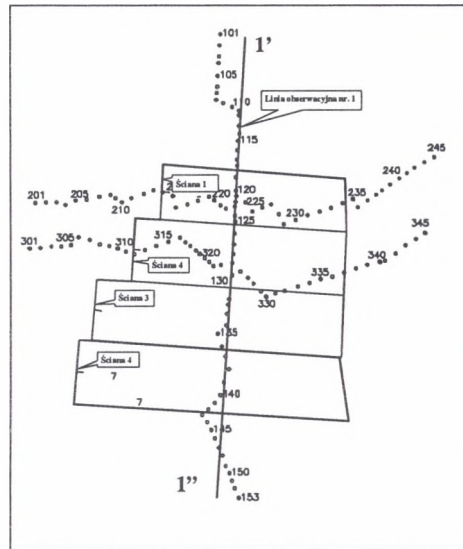
Przypadek II - formowanie się niecki wskutek postępu frontów ścianowych. Do obserwacji tego przypadku konieczna jest linia pomiarowa usytuowana równolegle do wybiegu ścian.

W niniejszym artykule przeanalizowano przypadek I.

W tym celu posłużono się wynikami obszernego programu badań deformacji terenu górniczego powstałych wskutek eksploatacji 4 ścian na KWK "X" znajdującej się na terenie GOP.

Przedmiotem eksploatacji był pokład o grubości około 2 metrów należący do pokładów orzeskich.

Eksploatacja była prowadzona w typowych, jak na warunki GOP, warunkach geologicznych. Górctwór tworzą tu skały nadkładowe składające się ze skał czwartorzędowych o miąższości około 50 m i triasowych o miąższości około 10 m oraz skał karbonu, który w warstwach orzeskich zbudowany jest z naprzemianległych warstw iłowców, mułowców, piaskowców i pokładów węgla. W rejonie oddziaływania wpływów eksploatacji nie występują większe dyslokacje tektoniczne mogące w sposób istotny wpływać na przebieg deformacji powierzchni terenu.



Rys. 1. Schemat położenia linii obserwacyjnych względem konturów eksploatacji

Fig. 1. Diagram presenting the location of observation lines against the mining contours

Eksploatacja była prowadzona systemem zawałowym kolejno ścianami od nr 1 do nr 4 na głębokości od 580 m do 700 m. Długość ścian wynosiła ok. 250 m, zaś ich wybiegi zwiększały się od 750 m dla ściany pierwszej do 1080 m w przypadku ściany czwartej. Nachylenie pokładu w tym rejonie waha się od 6° do 8° , a jego grubość, równa w zasadzie wysokości tych ścian, wynosiła od 1.8 m do 2.0 m.

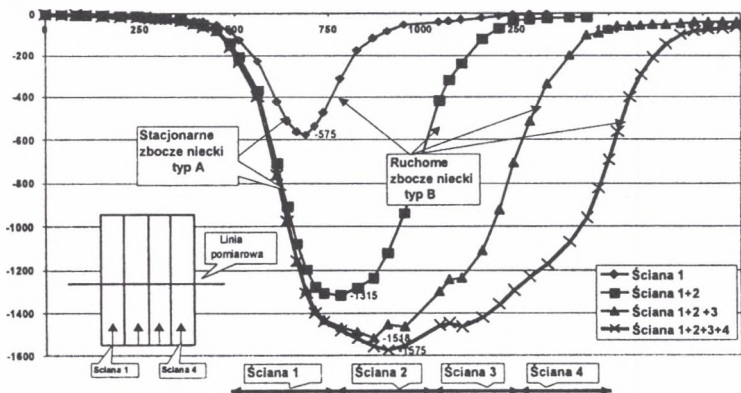
Wpływy eksploatacji tych ścian były obserwowane na trzech liniach pomiarowych o numerach 1, 2 i 3 zastabilizowanych poprzecznie (linia 1) oraz wzdłuż (linie 2 i 3) wybiegu tych ścian (rys.1). Linie te składają się odpowiednio z 58, 45 i 45 punktów, założonych w odległościach co 24 m i 48 m. Linia 1 biegnie z północy na południe zgodnie z południowym kierunkiem upadu pokładu przez środek pola wybrania, zaś linie 2 i 3 położone są wzdłuż ściany 1 (linia 2) i ściany 2 (linia 3).

Przedmiotem analizy są obniżenia zaobserwowane na linii 1.

Na liniach tych prowadzone były cykliczne (w okresach jednomiesięcznych i dwumiesięcznych) obserwacje wysokościowe metodą precyzyjnej niwelacji geometrycznej niwelatorem elektronicznym firmy Topcon z wykorzystaniem lat inwarowych. Pomiaru te każdorazowo nawiązywano do tych samych reperów znajdujących się poza oddziaływaniem eksploatacji górniczej, a ich stałość za każdym razem kontrolowano. Punkty nawiązania wraz z liniami pomiarowymi tworzyły sieć niwelacyjną wyrównywaną ściśle programem Geonet. Średnie błędy wyznaczenia wysokości punktów linii po wyrównaniu, przy przyjęciu bezbłędności punktów nawiązania nie przekraczały $\pm 0,7$ mm.

Charakteryzując ogólnie linię 1 można o niej powiedzieć:

1. pole wybrania jest tu w przybliżeniu prostokątem o dużych (w porównaniu z głębokością) rozmiarach,
2. przedmiotem obserwacji są wpływy eksploatacji pierwszego eksploatowanego pokładu, który zalega na całym obszarze w jednakowych warunkach geologicznych. Pokład ten jest w przybliżeniu poziomy. Średnie głębokości poszczególnych ścian w rejonie linii 1 wzrastają od 595 metrów dla ściany 1 do 695 metrów dla ściany 4,
3. grubość eksploatacyjna pokładu jest na całym obszarze w przybliżeniu stała,
4. linia pomiarowa przechodzi przez środek pola wybierania.



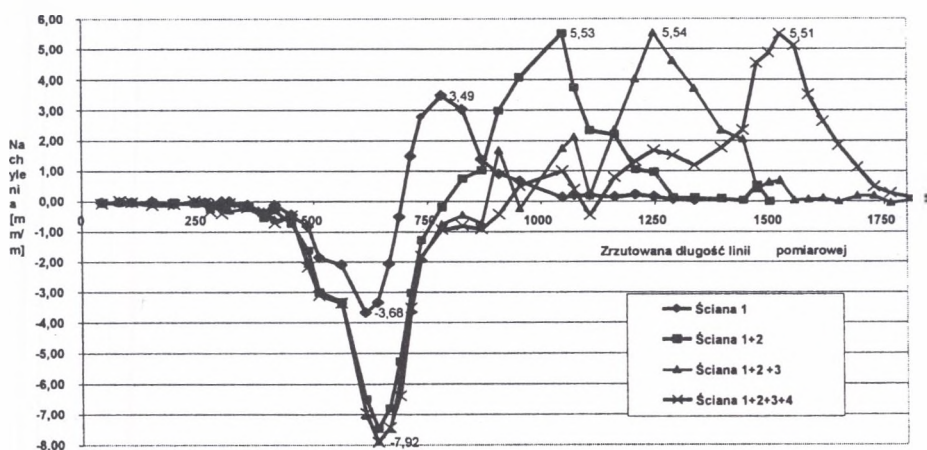
Rys. 2. Obniżenia linii pomiarowej nr 1 po wybraniu kolejnych ścian

Fig. 2. Subsidence of measurement line No.1 after the excavation of successive longwalls

Wyniki pomiarów obniżenia zaobserwowanych po zakończeniu eksploatacji kolejnych ścian przedstawia rys. 2. W celu zredukowania wpływu załamania linii pomiarowej na kształt niecki obniżeniowej rozpatrywany jest dalej profil uzyskany przez rzutowanie punktów linii obserwacyjnej 1 na prostą 1'-1'' prostopadłą do krawędzi eksploatacji ścian 1-4.

3. Analiza wyników obserwacji geodezyjnych

Rozpatrując linię pomiarową prostopadłą do wybiegu ścian zaobserwować można kształt zboczy niecki obniżeniowej po eksploatacji kolejnych ścian. Wyróżniamy tu zbocze A położone w sąsiedztwie pierwszej eksploatowanej ściany oraz zbocza B₁, B₂, B₃, B₄ kształtujące się po wybraniu kolejnych ścian. Zbocze A również zmienia swój kształt po wybraniu kolejnych ścian na A₁, A₂, A₃, A₄. Jedynie w przypadku eksploatacji pierwszej ściany warunki kształtowania się zboczy A₁ i B₁ są takie same – po prostu eksploatacja jest prowadzona w warunkach górotworu nienaruszonego. Rozpatrując dalsze etapy eksploatacji, na przykład po wybraniu ścian 1+2, zauważamy, że warunki deformowania się zboczy A₂ i B₂ różnią się między sobą. Rejon zbocza B₂ podlegał tu poprzednio wpływom eksploatacji ściany 1.



Rys. 3. Nachylenia wzdłuż linii pomiarowej po eksploatacji kolejnych ścian

Fig. 3. Inclination along the measurement line after the excavation of successive longwalls

Na rys. 3 przedstawiono wykresy nachyleń terenu wzdłuż linii 1'-1'', natomiast w tabeli 1 zestawiono maksymalne wartości nachyleń charakteryzujące nieckę obniżeniową w kolejnych etapach eksploatacji.

Z rysunku 3 i danych pokazanych w tablicy 3 widać wyraźnie, że nachylenia na statycznej krawędzi A są zawsze większe (nawet o 43%) od nachyleń zaobserwowanych na kolejnych zboczach niecki typu B tworzących się po eksploatacji kolejnej ściany.

Jednym z czynników powodujących spadek wartości maksymalnych nachyleń niecki po kolejnych etapach eksploatacji może być systematyczny wzrost głębokości krawędzi eksploatacji wyznaczającej południową granicę zrobów. Dlatego jeśli chcemy, opierając się

na porównaniu wartości maksymalnych nachyleń 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 maksymalne nachylenie maleje odwrotnie proporcjonalnie do głębokości krawędzi eksploatacji. Wyniki tej redukcji obrazuje tabela 2.

Tabela 1

Maksymalne nachylenia po wybraniu kolejnych ścian

	Ściana 1	Ściana 1+2	Ściana 1+2+3	Ściana 1+2+3+4
Nachylenie maksymalne skrzydła północnego (statycznego) $T_{\max Ai}$ [mm/m]	3,68	7,47	7,88	7,92
Odcinek, na którym wystąpiło nachylenie maksymalne $T_{\max Ai}$	119-120	120-121	120-121	120-121
Nachylenie maksymalne skrzydła południowego (zmieniające swoje położenie) $T_{\max Bi}$ [mm/m]	3,49	5,53	5,54	5,51
Odcinek na którym wystąpiło nachylenie maksymalne $T_{\max Bi}$	125-126	130-131	135-136	142-143
Różnica nachyleń $\Delta T_{\max i} = T_{\max Ai} - T_{\max Bi}$ [mm/m]	0,19	1,94	2,34	2,41
Stosunek nachyleń $T_{\max Ai}/T_{\max Bi}$	1.05	1,35	1,42	1,43

Z tabeli 2 wynika, że nachylenia nad północną (statyczną) krawędzią typu A są zawsze większe od skorygowanych (zwiększonych) nachyleń nad południową, zmieniającą swe położenie, krawędzią typu B.

Podobnie można analizować wielkość krzywizn profilu niecki obniżeniowej. Korektę wartości krzywizn w rejonie głębszej krawędzi eksploatacji przeprowadzono zgodnie z założeniem, że są one odwrotnie proporcjonalne do kwadratu głębokości.

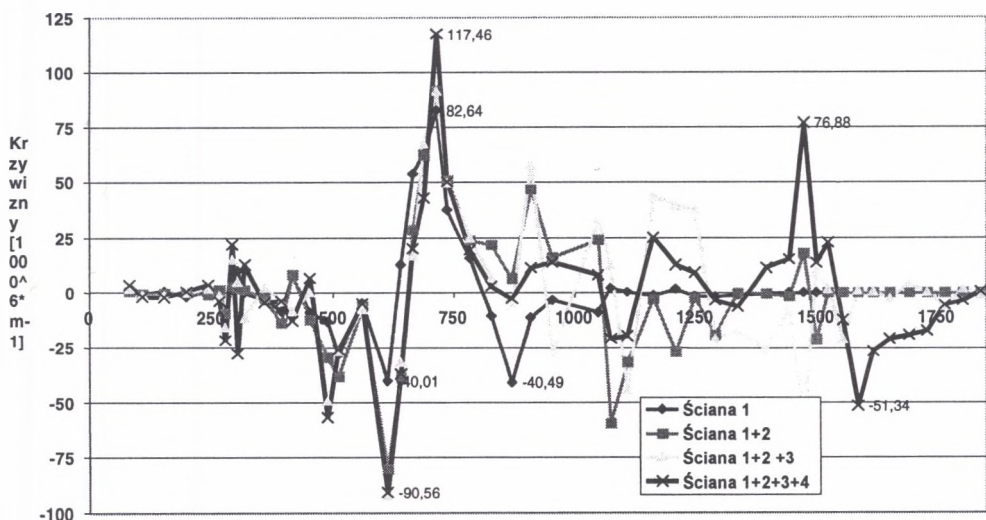
Rys. 4 przedstawia wykresy krzywizn niecki wzdłuż linii 1'-1''.

Analiza wartości maksymalnych krzywizn rzeczywistych (A) i skorygowanych (B) z uwagi na zmienną głębokość pokazuje, że krzywizny w rejonie krawędzi północnej (A) są średnio o 11% do 29% większe od krzywizn w rejonie ostatniej w kolejności krawędzi południowej (B).

Tabela 2

Maksymalne skorygowane nachylenia po wybraniu kolejnych ścian

	Ściana 1	Ściana 1+2	Ściana 1+2+3	Ściana 1+2+3+4
Nachylenie maksymalne skrzydła północnego (statycznego) $T_{\max Ai}$ [mm/m]	3,68	7,47	7,88	7,92
Głębokość krawędzi eksploatacji skrzydła północnego H_{Ai}	595	595	595	595
Nachylenie maksymalne skrzydła południowego zmieniające swoje położenie i głębokość $T_{\max Bi}$ [mm/m]	3,49	5,53	5,54	5,51
Głębokość krawędzi eksploatacji skrzydła południowego H_{Bi}	609	634	665	695
Skorygowane ze względu na głębokość nachylenie skrzydła południowego $T_{\max Bi}^H = T_{\max Bi}^H \frac{H_{Bi}}{H_{Ai}}$	3,57	5,89	6,19	6,43
Stosunek nachyleń $T_{\max Ai}/T_{\max Bi}^H$	1,03	1,26	1,27	1,23



Rys. 4. Krzywizny pionowe niecki obniżeniowej

Fig. 4. Vertical curvatures of the subsidence trough

Tabela 3

Maksymalne skorygowane krzywizny po wybraniu 4 ścian

Położenie zaobserwowanych krzywizn	Krawędź północna (A)		Krawędź południowa (B)	
	nad calizną	nad zrobami	nad zrobami	nad calizną
Krzywizny [$m^{-1}10^{-6}$]	-90.56	117.46	76.88	-51.34
Średnia głębokość ścian [m]	$H_{\text{ściany1}}=595$ m		$H_{\text{ściany4}}=695$ m	
Krzywiny skorygowane głębokością eksploatacji [$m^{-1}10^{-6}$] $K^H_{\max B_i} = K^H_{\max B_i} \left(\frac{H_{B_i}}{H_{A_i}} \right)^2$	-90.56	117.46	88.82	-70.5
Stosunek wartości krzywizn w rejonie krawędzi A do wartości skorygowanych krzywizn w rejonie krawędzi B			$117.5/88.8=$ $=1.11$	$-90.56/70.5=$ $=1.29$

4. Wnioski

- Po wybraniu pierwszego pola ścianowego zaobserwowane maksymalne nachylenia i krzywizny obydwu skrzydeł analizowanych niecek są praktycznie jednakowe, co wynika z jednakowych warunków geomechanicznych w czasie tworzenia się obydwu zboczy niecki.
- Maksymalne nachylenie niecki obniżeniowej nad statyczną krawędzią eksploatacji (rejon pierwszej ściany) (typ A) jest w przypadku linii 1 średnio o 25% większe od maksymalnego nachylenia skrzydła niecki nad krawędzią zmieniającą swoje położenie wskutek eksploatacji kolejnej ściany (typ B). Taki rozkład nachyleń maksymalnych jest związany z różnymi warunkami geomechanicznymi podczas tworzenia się zboczy typu A i typu B.
- Większym maksymalnym nachyleniom na skrzydle niecki położonym nad statyczną (północną) krawędzią eksploatacji towarzyszą większe o 11% do 29% (średnio 20%) maksymalne krzywizny profilu niecki niż nad ostatnią w kolejności wytworzoną krawędzią południową.
- W części dennej pełnych niecek osiadania obserwuje się znaczne nierównomierności obniżeń. Przejawiają się one następującymi zmianami wartości obniżeń:
 - pomimo takiej samej grubości eksploatacyjnej, maksymalne obniżenie nad kolejno eksploatowanymi ścianami stopniowo ulega zmniejszeniu,

- przy kolejnych zboczach typu B obserwuje się coraz łagodniejsze przejścia pomiędzy dnem a zboczem niecki,
- zmienne obniżenie powoduje występowanie zmiennych nachyleń i krzywizn w obrębie dna niecki. Nachylenia te nieznacznie narastają wraz eksploatacją kolejnych ścian. Stwierdzone maksymalne wartości nachyleń w części dennej wynoszą ok. 2 mm/m, tj. ok. 34% nachyleń maksymalnych.

Recenzent: Dr inż. Antoni Kot

Abstract

The analysis of numerous geodesic measurements indicates that the deformations of mining ground effected by the underground longwall working are considerably different from the deformations described by linear (in the sense of superposition of influences) mathematical models. We can observe that the bottoms of subsidence troughs are very uneven. The analyses also show that the maximum inclinations, curvatures and strains observed on the four successive sides of the subsidence trough being formed are considerably different from each other.

The main objective of the present paper is to show the influence of the sequence of working on the extent of maximum inclinations and curvatures of mining ground basing on geodesic observations which present increasing subsidence after the successive working of 4 longwall fields. The mining process was carried out in present-day times in one of the coal mines of the Upper Silesia Coal Basin. It was ascertained that the values of maximum inclinations and curvatures characterizing the subsidence trough are dependent on the mining sequence of particular longwall fields. Analyzing the measurement line perpendicular to the advance path of the successive longwalls, it was found that the highest inclination and curvatures occur in the area of static edge formed by the excavation of the first longwall.