

Jan BIAŁEK, Ryszard MIELIŃKA
Politechnika Śląska, Gliwice

PRÓBA WERYFIKACJI PARAMETRÓW TEORII PROGNOZOWANIA WPLYWÓW EKSPLOATACJI NA TEREN GÓRNICZY

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki weryfikacji wartości parametrów teorii prognozowania wykonanej na podstawie rezultatów współczesnych pomiarów geodezyjnych. Do tego celu wykorzystano program TGBJ, opracowany w Instytucie Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej, w którym zastosowano pewne rozszerzenia teorii W. Budryka-S. Knothego, umożliwiające uwzględnienie w prognozie deformacji tzw. dalekich wpływów i obrzeża eksploatacyjnego. Pokazano, że w niektórych przypadkach opracowany wzór lepiej opisuje rzeczywiste profile niecek osiadania, a także określono wartości typowych parametrów dla tego wzoru. Pokazano również, że występujące w ostatnich latach zwiększenie prędkości eksploatacji oraz schodzenie z eksploatacją na coraz większe głębokości nie powodują zauważalnych zmian wartości parametrów teorii prognozowania.

ATTEMPT TO VERIFY THE PARAMETERS OF THE PREDICTION THEORY INVOLVING THE INFLUENCE OF MINING ON MINING AREA

Summary. The paper presents the results involving the verification of prediction theory parameters carried out basing on the results of current geodesic measurements. We applied for this purpose the computer program TGBJ elaborated in the Institute of Mining Deposits of the Silesian Institute of Technology where we applied certain extensions of W. Budryk-S. Knothe theory which in the deformation prediction allow for so called distant influences and mining edge. We have shown that in certain cases the elaborated equation describes true profiles of subsidence troughs in a better way, and we have defined the values of typical parameters for that equation. We have also shown that a faster rate of mining front advance taking place recently and getting deeper with the excavation process does not result in any noticeable changes of the parameters of the prediction theory.

1. Wprowadzenie

Programy służące do prognozowania deformacji powstałe w Instytucie Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej bazują generalnie na teorii W. Budryka-S. Knothego. W ostatnich latach zaimplementowano w nich pewne rozszerzenia tej teorii [11]. Rozszerzenia te umożliwiają uwzględnienie efektu obrzeża, aktywacji zrobów i tzw. wpływów dalekich. Celem artykułu jest pokazanie na podstawie analizy współczesnych wyników pomiarów, jak wprowadzone zmiany w modelu S. Knothego wpływają na dokładność opisu obniżen terenu górniczego. Ponadto analiza ta stanowi okazję do weryfikacji wartości powszechnie stosowanych parametrów teorii wpływów, tj. współczynnika osiadania $a=0,8$ i parametru teorii $\gamma\beta=2,0$. Wydaje się to istotne z tego powodu, że te typowe wartości mogły w ostatnich latach ulec pewnym zmianom w wyniku prowadzenia eksploatacji z coraz większymi prędkościami i jednocześnie na coraz większych głębokościach.

2. Przyjęte w obliczeniach warianty modelu deformacji

Wyznaczenie wartości parametrów teorii prognozowania na podstawie wyników, współczesnych pomiarów geodezyjnych zostało wykonane programem TGBJ, umożliwiającym dopasowanie niecki teoretycznej do niecki rzeczywistej z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów, tj. poprzez wyznaczenie takich wartości parametrów, przy których występuje minimum sumy kwadratów różnic pomiędzy obniżeniami obserwowanymi a prognozowanymi. Obniżenia teoretyczne w programie tym są wyznaczone wzorem [11]:

$$W_k = (1 - a_w)w(r_1) + a_w w(r_2) - A_1 \left(2 + \frac{A_3}{2}\right) \frac{w(r_1)[r_1 \gamma(r_1)]^2}{A_3 [0.5w(r_1) + 0.5w(r_2)]^2 + [r_1 \gamma(r_1)]^2}, \quad (1)$$

gdzie:

$A_1 = A_{obr}$ – parametr ujmujący asymetrię profilu niecki obniżeniowej, $A_1 = d/r$ (d -obrzeże);

$w(r_1)$, $w(r_2)$ – obniżenia obliczone wzorem S. Knothego [9] z zastosowaniem promieni r_1 , r_2 ;

$A_3 = 6.667$;

$\gamma(r_1)$ – odkształcenie oktaedryczne obliczane dla $A_2=0,25$ uproszczonym wzorem, w którym pominięto ruchy poziome, a do opisu jego składowych zastosowano wzór S. Knothego, postaci:

$$\gamma^2 \approx \gamma_{oct}^2 \approx \frac{4}{3} \epsilon_z^2 + T_x^2 + T_y^2 \approx \left[A_2 \cdot r \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right]^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \quad (2)$$

$a_w = 0,4-1,25 A_1$ - stały dla danej niecki udział obniżen w(r_2) w obniżeniach całkowitych;

$r_1 = \frac{h}{tg\beta} F(A_1)$ - krótszy promień zasięgu wpływów;

A_1	0	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300
$F(A_1)$	0,800	0,844	0,916	1,003	1,099	1,200	1,303

$r_2 = 2 r_1$ – dłuższy promień zasięgu wpływów.

Dwa pierwsze składniki tego wzoru stanowią superpozycję dwóch niecek obniżeniowych o różnych promieniach zasięgu wpływów, co pozwala na opis tzw. dalekich wpływów. Trzeci składnik wzoru (1) pozwala na uwzględnienie w obliczeniach obrzeża eksploatacyjnego, które sprawia, że obniżenie nad krawędzią eksploatacji jest znacznie mniejsze niż połowa obniżenia maksymalnego, zaś profil niecki jest asymetryczny względem tej krawędzi.

Przedstawiony wzór na obliczanie teoretycznych obniżen terenu pod wpływem prowadzonej eksploatacji górniczej pozwala na wyznaczenie wartości parametrów teorii prognozowania dla trzech następujących wariantów modelu deformacji:

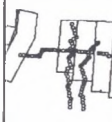
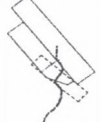


- model 1, który jest opisany klasycznym wzorem S.Knothego i posiada dwa parametry: a i $tg\beta$,
- model 2, który jest opisywany wzorem (1) dla $A_1=0$. Wtedy $a_w=0,4$; $r_2=2*r_1$; $r_1=0,8*h/tg\beta$. Model ten lepiej opisuje wpływy dalekie,
- model 3 – (wzór (1) $A_1>0$), który dodatkowo w stosunku do modelu 2 umożliwia uwzględnienie obrzeża eksploatacyjnego. Model ten wymaga określenia wielkości parametru A_1 .

3. Charakterystyka zebranego materiału obserwacyjnego z geodezyjnych pomiarów na liniach obserwacyjnych

Wyznaczenie wartości parametrów opisanych wariantów modeli deformacji przeprowadzono dla 6 linii obserwacyjnych z czterech kopalń, a mianowicie: KWK „Budryk” (3 linie), KWK „Bolesław Śmiały”, KWK „Jankowice” oraz KWK „Morcinek”.

Tablica 1

Dane charakteryzujące linie pomiarowe i wykonywane na nich obserwacje oraz dane geologiczno – górnictwa

Kopalnia		Charakterystyka linii pom. i wykonanych obserwacji					Charakterystyka geologiczno-górnictwa													
		Ilość punktów linii			Odległości między punktami [m]		Ilość wykonanych cykli pomiarowych		Daty: rozpoczęcia i zakończenia geod. obserwacji		Polożenie linii w stosunku do eksploatacji		Ilość ścian i nr-y eksploatowanych pokładów		Wysokość furty eksploatacyjnej [m]		Sposób kierowania stropem		Głębokość eksploatacji [m]	
Budryk	1	63	24 i 48		25	07.94-03.99			5 ścian w pokł.338/2	1,7-2,0	zawał	600-680	30							
	2	44																		
	3	49																		
Bolesław Śmiały	Kąty		10-25		24	01.98-09.99			1 ściana w pokł.308 2 ściany w pokł.317	1,3 i 1,5	zawał	170-220 320-370	5							
	ul. Biaław-kowa		20		24	01.98-09.99			1 ściana w pokł.409/2	2,5	zawał	230-390	50							
Morcinek	4 i 6		30		41	04.87-02.98			ściany w pokł.406/1, 406/2, 407/3 i 416/1	3,4-4,0 2,3-2,5 2,4 3,8-4,1	zawał	740-850 700-780 800-850 1020-1060	550							

Na liniach były wykonywane systematyczne pomiary wysokości punktów niwelacją precyzyjną w nawiązaniu do punktów stałych oraz pomiary długości odcinków linii dalmierzami elektronicznymi (z wyjątkiem linii pomiarowych na KWK „Morcinek”). Podstawowe dane charakteryzujące linie pomiarowe i przeprowadzone na nich obserwacje oraz warunki geologiczno-górnice, w jakich odbywała się eksploatacja, której skutki na linach tych były obserwowane, przedstawiono w tab. 1.

4. Określenie wartości parametrów dla poszczególnych wariantów modelu deformacji

Wyznaczenie parametrów teorii prognozowania wykonano programem TGBJ, który pozwala na określenie wartości ich parametrów (a , $tg\beta$, oraz A_I) na podstawie dopasowania niecki teoretycznej do niecki wynikającej z pomiarów geodezyjnych na zasadzie minimalizacji sumy kwadratów odchyłeń wielkości pomierzonych w poszczególnych punktach linii pomiarowej i obniżeń teoretycznych obliczonych dla tych punktów. Stopień dopasowania ocenia się posługując się takimi statystycznymi miarami, jak odchylenie standardowe oraz współczynnik korelacji.

Wyznaczone programem TGBJ wartości parametrów dla trzech przedstawionych wcześniej modeli teorii prognozowania oraz otrzymane statystyczne miary stopnia tych dopasowań zebrano w tab. 2, zaś przykładowe wyniki dopasowania niecki teoretycznych do niecki wyznaczonej pomiarami geodezyjnymi dla linii zastabilizowanej wzdłuż ul. Bławatkowej z KWK „Jankowice” przedstawiono graficznie w formie wykresu jako rys. 1.

Na podstawie wyników przeprowadzonych dopasowań niecki teoretycznych do niecki stwierdzonych pomiarami geodezyjnymi przedstawionych w tab. 2 można sformułować następujące stwierdzenia:

Dla modelu 1 (klasyczny wzór S.Knothe'go) średnia wartość współczynnika osiadania a dla przeanalizowanych przypadków jest równa $a_{sr} = 0,769$, zaś parametru teorii $tg\beta$ wynosi $tg\beta_{sr} = 1,950$. Są to wartości bliskie wartościom typowym, powszechnie aktualnie przyjmowanym przy wykonywaniu prognoz deformacji.

Tablica 2

Wartości parametrów poszczególnych modeli deformacji wyznaczone z wyników pomiarów niwelacyjnych na liniach obserwacyjnych

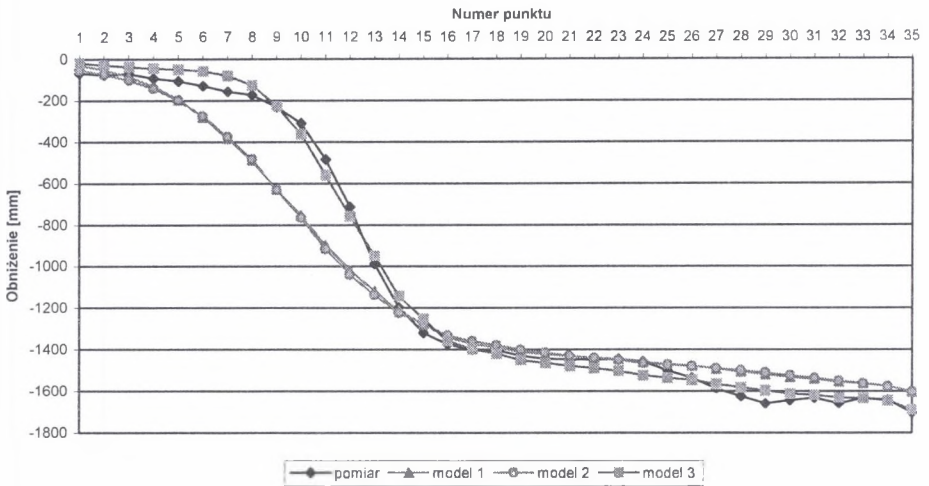
Lp.	Kopalnia Linia pomiarowa	Pomierzone max. obniżenie	Numer modelu	Współczynnik osiadania	Parametr teorii	Parametr obrzeża eksploatacyjnego	Odchylenie standardowe	Współczynnik korelacji
		w_{max} [m]						
1	KWK „Budryk” Linia nr 1	1,579	1	0,789	1,900	0	131,0	0,9778
			2	0,791	2,167	0	127,9	0,9789
			3	0,855	2,433	0,200	48,2	0,9970
2	KWK „Budryk” Linia nr 2	1,480	1	0,684	2,100	0	164,5	0,9559
			2	0,690	2,233	0	157,3	0,9598
			3	0,908	2,533	0,250	22,8	0,9992
3	KWK „Budryk” Linia nr 3	1,632	1	0,792	2,100	0	160,0	0,9715
			2	0,795	2,333	0	155,6	0,9730
			3	0,893	2,367	0,267	19,5	0,9996
4	KWK „Jankowice” Linia przy ul. Bławatkowej	1,704	1	0,826	1,300	0	167,0	0,9638
			2	0,847	1,333	0	162,6	0,9658
			3	0,872	2,167	0,250	43,3	0,9976
5	KWK „Bolesław Śmiały” Linia 1 – 53 na Osiedlu „Kąty”	2,001	1	0,833	2,100	0	84,2	0,9932
			2	0,839	2,400	0	79,5	0,9940
			3	0,854	2,383	0,050	75,0	0,9946
6	KWK „Morcinek” Linie nr 6 i 4	5,656	1	0,662	2,367	0	429,3	0,9739
			2	0,678	2,467	0	401,7	0,9772
			3	0,790	2,467	0,117	236,6	0,9922

W przypadku modelu 2 dopasowanie niecek teoretycznych do rzeczywistych jest nieznacznie lepsze niż w przypadku modelu 1, przy czym wyznaczone wartości współczynnika osiadania a są bliskie, a wartości $tg\beta$ nieco większe niż uzyskane przy zastosowaniu modelu 1.

Model 3 najlepiej opisuje rzeczywiste niecki osiadania, o czym świadczą uzyskane w przypadku zastosowania tego modelu, w odniesieniu do innych analizowanych modeli, najniższe wartości odchylenia standardowego oraz najwyższe - współczynnika korelacji.

Wyznaczone wartości parametrów w tym modelu dla rozpatrywanych przypadków są przy tym następujące:

- współczynnik osiadania a zmienia się najmniej w odniesieniu do innych modeli, gdyż tylko od 0,790 do 0,908, a jego wartość średnia wynosi $a_{sr} = 0,850$,
- nad przestrzenią wybraną wyznaczone niecki osiadania odpowiadają nieckom o wartości parametru $tg\beta$ wynoszącej od 2,167 do 2,533 (średnia wartość jest równa $tg\beta = 2,365$),
- parametr ujmujący asymetrię niecki obniżeniowej (związany z obserwowanym efektem obrzeża eksploatacyjnego) zmienia się od 0,05 do 0,267, a jego średnia wartość wynosi $A_1 = 0,164 \approx 0,15$.



Rys. 1. Dopasowanie niecek teoretycznych do niecki uzyskanej z pomiarów obniżeń na linii przy ul. Bławatkowej (KWK „Jankowice”) przeprowadzone dla analizowanych modeli deformacji

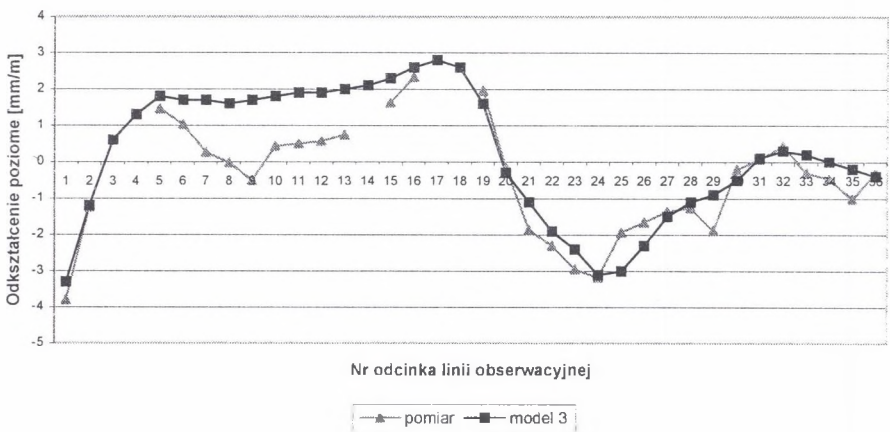
Fig. 1 Matching of theoretical troughs with the trough obtained from subsidence measurements on the line in Bławatkowa Street (Coal Mine 'Jankowice') carried out for the analyzed deformation models

Należy podkreślić, że wyznaczone przy zastosowaniu modelu 3 maksymalne wartości obniżeń i nachyleń są większe i znacznie bliższe wartościom obserwowanym niż uzyskane z pozostałych analizowanych modeli deformacji.

W celu stwierdzenia czy model 3 opisuje dobrze również odkształcenia poziome wyznaczone z pomiarów geodezyjnych, posłużono się programem EDBJ1, w którym

prognozowane wielkości obniżen oblicza się wzorem (1), czyli z uwzględnieniem tzw. dalekich wpływów i obrzeża (jest to model deformacji równoważny modelowi 3), a odkształcenia poziome oblicza się wykorzystując hipotezę Awierszina. Porównanie wielkości prognozowanych i wyznaczonych z pomiarów długości odcinków linii obserwacyjnych wykazało dobrą aproksymację pomierzonych wartości odkształceń poziomych ich wartościami obliczonymi programem EDBJ1. Godny podkreślenia jest fakt, że opisy te uzyskano stosując parametry wyznaczone z pomiarów obniżen.

Przykład takiego porównania dla linii 1 z KWK „Budryk” przedstawiono na rys 2.



Rys. 2. Porównanie odkształceń poziomych teoretycznych i wyznaczonych z pomiarów geodezyjnych na linii obserwacyjnej 1 KWK „Budryk”

Fig. 2. Comparison of theoretical horizontal strains with the ones determined from geodesic measurements on the observation line 1 of Coal Mine "Budryk"

5. Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki badań nad weryfikacją wielkości parametrów teorii prognozowania przeprowadzonych na podstawie rezultatów współczesnych pomiarów geodezyjnych pozwalają na sformułowanie następujących generalnych wniosków:

1. Wyznaczone dla rozpatrywanych przypadków średnie wartości parametrów teorii W. Budryka-S. Knothego są bliskie dotychczas przyjmowanym ($a=0,8$, $tg\beta=2,0$). Świadczy to o tym, że występujące w ostatnich latach zwiększone prędkości eksploatacji oraz

schodzenie z eksploatacją na coraz większe głębokości nie ma zauważalnego wpływu na wielkość tych parametrów.

2. Model deformacji oznaczony w artykule numerem 3, opisywany wzorem (1), uwzględniający zarówno obrzeże jak i wpływy dalekie, najlepiej z wszystkich prezentowanych modeli opisuje proces obniżeń terenu górniczego. Błąd średni tego modelu jest 2 do 3 razy mniejszy niż dla modeli 1 i 2. Typowe wartości parametrów reprezentujące „uśredniony górotwór” dla tego modelu powinny się przyjmować równe $a = 0,85$, $tg\beta = 2,3$ oraz $A_1=0,15$.
3. Obliczone programem EDBJ1 na podstawie wartości parametrów wyznaczonych z pomiarów obniżeń wartości odkształceń poziomych odcinków rozpatrywanych linii obserwacyjnych dobrze aproksymują ich wartości określone z pomiarów długości. Świadczy to o zachowanej w modelu 3 wzajemnej spójności opisu obniżeń i przemieszczeń poziomych.

LITERATURA

1. Białek J.: Programy na EMC do prognozowania wskaźników dynamicznych deformacji niecek osiadania. Ochrona Terenów Górniczych nr 71, Katowice 1985
2. Białek J.: Opis nieustalonej fazy obniżeń terenu górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Zeszyty naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 194, Gliwice 1991.
3. Białek J.: Sposób poprawy opisu wpływów dalekich. Przegląd Górniczy nr 3/1993.
4. Białek J.: Mielimąka R.: Możliwości zwiększenia dokładności prognoz deformacji terenu górniczego wykonanych przy użyciu powszechnie stosowanych programów komputerowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 239.
5. Białek J., Mielimąka R.: Ocena skutków oddziaływania eksploatacji o znacznych postęпах na zabudowę jednorodziną. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 246, Gliwice 2000.
6. Budryk W.: Wyznaczanie wielkości poziomych odkształceń terenu. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. t. I, z. 1, 1953.
7. Drzęzła B.: Rozwiązanie pewnego przestrzennego zadania liniowej teorii sprężystości w zastosowaniu do prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji

- górnictwej wraz z oprogramowaniem. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 91, Gliwice 1978.
8. Drzęzła B.: Opis programów prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górnictwej - aktualny stan oprogramowania. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 165, Gliwice 1989.
 9. Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. t. I, z. 1, 1953.
 10. Popiołek E., Ostrowski J.: Próba ustalenia głównych przyczyn rozbieżności prognozowanych i obserwowanych poeksploatacyjnych wskaźników deformacji. Ochrona Terenów Górniczych nr 58, Katowice 1981.
 11. Praca zbiorowa wykonana w Zakładzie Geodezji Górniczej Politechniki Śl.: Grant nr T12A02709 pt. Czasoprzestrzenny model opisu deformacji terenu górnictwego uwzględniający zmiany objętości deformowanego górotworu i wpływy dalekie. Kierownik: Jan Białek, Gliwice 1998.
 12. Rogusz Z.: Wpływ czynników geologiczno-górnictwych na wartość parametru tg teorii W. Budryka - S. Knothe w świetle badań terenowych. Praca doktorska, GIG, Katowice 1977.
 13. Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górnictwej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 164, Gliwice 1987.

Recenzent: Dr inż. Piotr Trzcionka

Abstract

The paper presents the analysis of geodesic measurements involving the subsidence of mining area in 6 areas of mining process. The mining process was characterized among others by a considerable advance of mining front. The results of geodesic observations were applied to verify the parameters of prediction theory involving the deformation of mining area. Specialist software was used for that purpose, elaborated in the Institute of Mining Deposits of the Technical University of Silesia, where the W. Budryk – S. Knothe theory was developed

to allow in the deformation prediction for so called far influences and mining border. In all cases the applied equation better describes true profiles of subsidence trough since the mean matching error is over three times lower. Typical values of parameters representing the “averaged rockmass” for this model should be accepted as equal to $a=0.85$ $\text{tg}\beta=2.3$ $A_1=0.15$, which means that the border’s width $d\cong 0.08h$.

The paper presents also the comparison of predicted and observed horizontal strains, which speaks for the mutual coherence of the description of subsidence and horizontal shift with the proposed equations being applied. The investigation results show that the increase of mining rate taking place recently and getting with mining process deeper into the ground does not bring about any substantial changes of the parameters used for the prediction theory.